

المجلد 23 - العدد 1
يناير (كانون الثاني) 2007

SCIENTIFIC AMERICAN
January 2007



نمو متسارع للطاقة المتجددة



تأمين وقود لوسائل النقل المستقبلية



برمجيات خبيثة تغزو الهواتف الخلوية



الهندسة الهدروليكية في المكسيك ما قبل التاريخ

تقرير خاص:

العصبونات المرآتية والتوحد

MIRROR NEURONS AND AUTISM

العدد 225 - السعر: 1.500 دينار كويتي

المقالات

ترجمة أو مراجعة

مجلة العلوم تصدر شهريا في الكويت منذ عام 1986 عن مؤسسة الكويت للتقدم العلمي، وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت. وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. ومجلة العلوم هي في ثلاثة أرباع محتوياتها ترجمة لساينتفيك أمريكان التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر ساينتفيك أمريكان بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها الفعال للصور والرسوم الملونة والجداول.



تأمين الوقود لوسائل النقل المستقبلية(*)

ما الخيارات المتاحة لتقليل الطلب على النفط ولتخفيض انبعاثات غاز الدفيئة(1) من السيارات والشاحنات الخفيفة(2)؟

<J. B. هيوود>

اذا توخينا الأمانة فإن معظمنا، في البلدان الغنية، سيعترف بحبه نُظم وسائل النقل الحالية؛ ذلك أن هذه الوسائل تمكننا من التنقل وقتما نشاء ـ وعادة، من الباب الى الباب ـ بشكل منفرد أو مع العائلة أو الأصدقاء؛ ومع امتعتنا أيضا. إن شبكة توزيع البضائع، غير المرئية غالبا، تقوم بنقل البضائع من مكان الى آخر وتدعم نمط معيشتنا. وما دام الأمر كذلك، فما الداعي للقلق حول المستقبل وعلى وجه الخصوص حول كيفية تأثير الطاقة، التي هي القوة المحركة لوسائل النقل، في بيئتنا؟

تكمن الإجابة في حجم نظم وسائل النقل هذه ونموها الذي لا يمكن إيقافه. وهي تستخدم الوقود المشتق من النفط (البنزين والديزل) بمعدلات لا يمكن تخيلها. فعنصر الكربون في هذا الوقود يتأكسد ليتحول إلى ثنائي أكسيد الكربون ـ الذي هو من غازات الدفيئة ـ خلال سيرورة احتراق الوقود. وهذا يعني أن الاستخدام المكثف لذلك الوقود يؤدي إلى صعود كميات هائلة من غاز ثنائي أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوي. وتسهم وسائل النقل في 25 في المئة من مجمل غازات الدفيئة المنبعثة في الغلاف الجوي على المستوى العالمي. ومع تنامي انتشار وسائل النقل في البلدان النامية، فإن الطلب العالمي المتزايد على الوقود سوف يجعل التحكم في تركيز غازات الدفيئة في الغلاف الجوي من أكبر التحديات التي تواجهنا. إن أسطول المركبات الخفيفة في الولايات المتحدة (السيارات، وشاحنات البكب pickup، والشاحنات الخفيفة) يستهلك 150 بليون كالون (550 بليون لتر) من البنزين سنويا، وهذا يعادل 1.3 كالون من البنزين يوميا للفرد. فإذا استهلكت الأمم الأخرى البنزين بالمعدل ذاته فإن الاستهلاك السنوي العالمي سيرتفع إلى عشرة أضعاف الاستهلاك الحالي تقريبا.

وعندما ننظر إلى المستقبل، فما الإمكانات المتاحة للاستمرار في الاستفادة من وسائل النقل بتكلفة مقبولة؟

نظرة إجمالية(**)

- إن الاستخدام المكثف للوقود البترولي في النقل يطلق كميات هائلة من ثنائي أكسيد الكربون في الجو ـ نحو 25 في المئة من كمية هذا الغاز على المستوى العالمي.
- تتضمن الخيارات المتاحة للحد من هذه الانبعاثات أو خفضها تحسين تقانة المركبات وإنقاص حجمها وتطوير أنواع مختلفة من الوقود وتغيير طرق استخدام المركبات.
- على الأغلب، سنحتاج إلى اتباع كافة هذه الخيارات لنحقق النجاح.

الخيارات المتاحة(***)

هناك العديد من الخيارات التي يمكن أن تُحدث تعديلا جوهريا. فمن الممكن تحسين تقانة المركبات أو تغييرها. ومن الممكن تغيير نمط استخدامنا للمركبات. ومن الممكن تقليل حجم المركبات. ومن الممكن استخدام أنواع أخرى من الوقود. ومن الأرجح أنه سيتعين علينا تطبيق هذه الخيارات جميعها لتقليل استهلاكنا للطاقة تقليلا جذريا وتقليل انبعاثات غاز الدفيئة.

وعند تفحص هذه الخيارات ينبغي أن نأخذ بالاعتبار عوامل عديدة تتعلق بنظام النقل الحالي. فنظام النقل هذا يتلاءم مع سياق استخدامه الأولي، أي العالم المتطور. فخلال عقود من الاستخدام كان لهذا النظام متسع من الوقت ليتطور على نحو يحصل فيه توازن بين التكلفة الاقتصادية واحتياجات المستخدمين ورغباتهم. والأمر الثاني الذي ينبغي أخذه بالاعتبار هو أن هذا النظام الضخم الفعّال يستند كليا إلى مصدر طاقة ملائم هو البترول. وهذا أدى إلى تطوير أنواع من التقانة ـ محرك الاحتراق الداخلي على الأرض والمحركات النفاثة (التوربينات الغازية) في الجو ـ تلائم عمل المركبات مع هذا الوقود السائل الغني بالطاقة. والأمر الأخير الذي ينبغي أخذه بالاعتبار هو أن المركبات تستمر في العمل فترة زمنية طويلة. ولذلك فإن التغيير السريع سيكون ذا صعوبة مزدوجة، وسوف يستغرق الحد من التأثيرات المحلية والعالمية لاستخدام الطاقة في وسائل النقل ومن ثم تقليلها عقودا قادمة.

أيضا نحتاج إلى أن نتذكر أن معايير الكفاءة قد تكون مضللة. فالمهم هو مقدار الاستهلاك الفعلي للوقود خلال السياقة(3) الفعلية. فكفاءة محرك الاشتعال بالشرارة الحالي الذي يعتمد البنزين وقودا، تقرب من 20 في المئة عند السياقة داخل المدن. وفي أفضل ظروف التشغيل تبلغ الكفاءة نحو 35 في المئة. ولكن في الكثير من الرحلات القصيرة عندما يكون المحرك باردا ويكون الطقس باردا، إضافة إلى ظروف سياقة قاسية، يزداد استهلاك الوقود ازديادا محسوسا. وكذلك إن بقاء المحرك مشتغلا فيما العربة متوقفة زمنا طويلا والفقد الحاصل في جهاز نقل الحركة يؤثران في ازدياد الاستهلاك. فهذه الظروف الواقعية تنقص كفاءة المحرك الوسطية، بحيث لا يتم

(*) FUELING OUR TRANSPORTATION FUTURE

(**) Overview

(***) The Options

(1) greenhouse gas emissions

(2) light trucks

(3) أو السَّوْق: قيادة مركبة

تحويل سوى نحو 10 في المئة من الطاقة الكيميائية الكامنة في الوقود إلى طاقة حركة للمركبة. وقد عبر «A. لوفينز» [وهو من أكبر دعاة استخدام المركبات الصغيرة ذات الكفاءة الأكبر] عن هذه الحقيقة بالصورة الآتية: «إذا كانت كفاءة المركبة 10 في المئة وإذا أخذنا بالاعتبار وزن السائق إضافة إلى وزن راكب واحد وبعض الأمتعة، وهذا يعادل حمولة صافية تبلغ نحو 135 كيلوغرام (300 باوند) ـ أي نحو 10 في المئة من وزن المركبة ـ فإن 1 في المئة فقط من طاقة الوقود الموجود في صهريج العربة هو الذي يحرك هذه الحمولة.»



سيارة مقترحة من الشركة فولكسفاكن صُممت لتحمل راكبين داخل المدن والضواحي. تزن هذه السيارة 290 كغ (460 باوند) وتقطع 240 ميل لكل كالون، وهي موجودة كنموذج أولي فقط.

وينبغي لنا أن نأخذ في حسابنا تكلفة إنتاج الوقود وتوزيعه، وتكلفة استخدام المركبة خلال عمرها الافتراضي الذي هو نحو 240 000 كم (150 000 ميل)، إضافة إلى تكلفة صنع المركبة وصيانتها والتخلص منها. وعادة ما تسمى هذه الأطوار الثلاثة المتعلقة بتشغيل المركبة: طور من بئر النفط إلى خزان الوقود[1]، وطور من الخزان إلى العجلات[2]، وأخيرا طور من المهد إلى اللحد[3]. ويسهم الطور الأول بنحو 15 في المئة من الفترة الكلية لاستخدام الطاقة وانبعاثات غاز الدفيئة، في حين يسهم الطور الثاني بنحو 75 في المئة من ذلك، ويسهم الطور الثالث بنحو 10 في المئة. ومن المدهش أن الطاقة اللازمة لإنتاج الوقود ولتصنيع المركبة ليست كمية مهملة. وحسابات الدورة الكاملة هذه تكتسب أهمية، وبخاصة عند أخذنا بالاعتبار استخدام أنواع من الوقود لا تعتمد على البترول وأنواع جديدة من تقانة المركبات. فما يستفاد منه وما ينبعث بهذا *المعنى الإجمالي* هو المهم.

الاستهلاك اليومي للبترول في العالم[1]

حاليًا، يستهلك الناس 80 مليون برميل يوميا [MBD] ويذهب ثلثا هذه الكمية لوسائل النقل

53	29	19	5
مليون برميل يوميا لإجمالي النقل	مليون برميل يوميا للنقل البري (نقل الناس)	مليون برميل يوميا للشحن البري (نقل البضائع)	ملايين برميل يوميا لنقل الناس والبضائع جوا

إن تحسين تقانة المركبات الخفيفة الموجودة حاليا يستطيع عمل الكثير: ذلك أن استثمار قدر أكبر من المال ـ بهدف زيادة كفاءة المحرك وآلية نقل الحركة وإنقاص الوزن وتحسين الإطارات وتقليل مقاومة الهواء ـ يمكن أن يؤدي إلى إنقاص استهلاك الوقود بمقدار الثلث تقريبا خلال السنوات العشرين القادمة أو نحو ذلك ـ تحسين بمعدل 1 إلى 2 في المئة سنويا. (وهذا الإنقاص سيكلف ما بين 500 و 1000 دولار لكل مركبة. وهذا المبلغ لن يزيد في تكلفة المركبة خلال سني عملها بحساب الأسعار المستقبلية للوقود). وأنماط التحسينات هذه كانت تُجرى على مدى السنوات الخمس والعشرين الماضية بصورة دائمة. لكننا كنا نشتري سيارات وشاحنات صغيرة أكبر وأثقل وأسرع فألغينا بذلك الفوائد التي كان بإمكاننا تحقيقها بوساطة هذه التحسينات. ومع أن التحول إلى السيارات الأكبر والأقوى أكثر ظهورا في الولايات المتحدة، فقد حدث أيضا في أمكنة أخرى من العالم. إننا نحتاج إلى طرائق تحفز المشترين على استخدام الإمكانات المتاحة لتقليل استهلاك الوقود وتقليل انبعاثات غاز الدفيئة لتوفير الوقود والحد من التلوث.

وفي المدى القريب، إذا تم إنقاص وزن المركبات وحجمها وإذا ما قام المشترون والمصنّعون بتخطي الرغبة في زيادة قدرة المركبات وأدائها باستمرار، عندئذ ربما أمكننا، في البلدان المتطورة، إبطاء معدل الطلب على البترول، ثم جعله يتوقف عند 20 في المئة أعلى من معدله الحالي في مدى يتراوح بين 15 و 20 سنة، إذ يبدأ هذا المعدل بالتناقص بعد ذلك. ولا يبدو هذا التوقع جسورا بالدرجة الكافية، بيد أنه تحد يواجهنا ويختلف تماما عن مسارنا الحالي الذي يتضمن نموا مستقرا في استهلاك الوقود بمعدل 2 في المئة سنويا تقريبا.

أما على المدى الطويل فلدينا بدائل أخرى: إذ نستطيع تطوير أنواع من الوقود تحل جزئيا محل البترول. ونستطيع أن نتحول إلى أنظمة دفع جديدة تستخدم الهدروجين أو الكهرباء. ونستطيع المضي أبعد من ذلك بتصميم مركبات أصغر وأخف من تلك المستخدمة حاليا مع التشجيع على قبولها.

وقد يكون من الصعوبة بمكان تحقيق خيار الوقود البديل ما لم يكن هذا الوقود منسجما مع نظام التوزيع القائم حاليا. وكذلك فإن الوقود المستخدم حاليا هو سائل ذو كثافة عالية من الطاقة[4]. ومن ثم فإن اللجوء إلى وقود ذي كثافة أقل من الطاقة يستلزم استخدام خزانات وقود أكبر أو الاكتفاء بمدى أقل للمسافة القصوى التي

(*) Daily Use of Petroleum Worldwide
(1) well-to-tank
(2) tank-to-wheels
(3) cradle-to-grave
(4) high energy density

المقاييس الزمنية للتقانات الجديدة(*)

من المكن للتصاميم الجديدة للمركبات أن تؤدي، في نهاية المطاف، إلى تخفيض استهلاك الطاقة في وسائل النقل في الولايات المتحدة، ولكن ذلك لن يقدم حلا سريعا. وتبين التقديرات أدناه، والمقتبسة من مختبر المعهد MIT للطاقة والبيئة، الفترات الزمنية اللازمة لكي يكون للتقانات الجديدة أثر ملموس

تقانة المركبات	مركبات منافسة في السوق	طور التنفيذ: اختراق عبر إنتاج مركبة جديدة+	طور التنفيذ: اختراق أسطول رئيسي•	الزمن الكلي للتأثير
محرك شاحن توربيني يعمل بالبنزين	5 سنوات	10 سنوات	10 سنوات	20 سنة
محرك ديزل بتلوث قليل	5 سنوات	15 سنة	15-10 سنة	30 سنة
هجينة مع البنزين	5 سنوات	20 سنة	15-10 سنة	35 سنة
هجينة تعتمد خلايا الوقود الهدروجيني	15 سنة	25 سنة	20 سنة	55 سنة

+ أكثر من ثلث إنتاج المركبة الجديدة • أكثر من ثلث المسافات المقطوعة

تقطعها المركبة من المسافة الحالية التي تبلغ نحو 400 ميل. وضمن هذا المنظور فإن البديل الذي يبرز جليا هو البترول غير التقليدي (الرمل البترولي(1)، النفط الثقيل، الزيت الحجري(2)، الفحم الحجري) بيد أن معالجة هذه الموارد لإنتاج «الزيت»(3) تتطلب كميات كبيرة من أشكال أخرى من الطاقة، مثل الغاز الطبيعي والكهرباء، لذلك فإن سيرورات المعالجة هذه تبعث كميات ملموسة من غازات الدفيئة وتؤدي إلى تأثيرات بيئية أخرى. إضافة إلى ذلك فإن هذه السيرورات تستلزم توظيف رؤوس أموال كبيرة. ومع ذلك فقد بدأ الاستثمار الفعلي لمصادر البترول غير التقليدية، رغم العواقب البيئية الواسعة المترتبة عليها. ومن المتوقع أن تلبي هذه المصادر نحو 10 في المئة من وقود النقل خلال السنوات العشرين المقبلة.

إضافة إلى ذلك فقد بدأ إنتاج أنواع من الوقود المستخرج من الكتلة البيولوجية (مثل الإيثانول والديزل البيولوجي)، والتي تعد بانبعاث كميات أقل من ثنائي أكسيد الكربون لكل وحدة طاقة. ففي البرازيل يشكل الإيثانول المصنوع من قصب السكر ما يقرب من 40 في المئة من وقود النقل. وفي الولايات المتحدة الأمريكية يتم تحويل نحو 20 في المئة من محصول الذرة إلى إيثانول. ويخلط معظم هذا الإيثانول بالبنزين بنسبة تعادل 10 في المئة للحصول على ما يسمى البنزين المعاد تشكيله(4) (الأنظف في الاحتراق). وتهدف السياسة الحديثة للطاقة الوطنية في الولايات المتحدة الأمريكية إلى مضاعفة إنتاج الإيثانول المستخدم في الوقود، والذي يبلغ حاليا 2 في المئة، بحلول عام 2012. إلا أنه من الضروري أن يتم تخفيض كميات السماد والمياه والغاز الطبيعي والكهرباء المستخدمة في إنتاج الإيثانول من الذرة تخفيضا كبيرا. ويبدو أن استثمار الطاقة البيولوجية السليلوزية (بقايا النباتات ونفاياتها غير المستخدمة كمصادر غذائية) أكثر كفاءة وأقل تلويثا للبيئة من جهة انبعاثات غاز الدفيئة. ومع أن ذلك ليس أمرا مربحا تجاريا، فمن المكن أن يصبح كذلك قريبا. أما الديزل البيولوجي فيمكن إنتاجه من محاصيل متعددة (مثل بذر اللفت وعباد الشمس وزيت فول الصويا) ومن الدهون الحيوانية المستهلكة. وحاليا يُجرى خلط الكميات القليلة الناتجة بالديزل العادي.

ومن المحتمل أن يتنامى استخدام الوقود المستخلص من الكتلة البيولوجية بشكل مطرد. بيد أنه نتيجةً للتأثيرات غير الأكيدة لهذا الأمر في البيئة، المصاحبة لتحويل محاصيل الكتلة البيولوجية إلى وقود بكميات كبيرة (التأثيرات في نوعية التربة وفي مصادر المياه وانبعاثات غاز الدفيئة)، فإن هذا النوع سيسهم - ولكنه من غير المحتمل أن يسود - كمصدر وقود مستقبلي في الزمن القريب.

ويتفاوت استخدام الغاز الطبيعي وقودا لوسائل النقل في مختلف أرجاء العالم، حيث يتراوح من أقل من 1 في المئة إلى ما بين 10 و 15 في المئة في بلدان قليلة، إذ تجعل السياسة الضريبية ذلك أمرا مجديا اقتصاديا. ففي تسعينيات القرن العشرين، أدى استخدام الغاز الطبيعي وقودا لحافلات مدن الولايات المتحدة الأمريكية إلى تقليل الانبعاث الغازي. ومع ذلك فإن استخدام الديزل - مصحوبا بوسائل تنظيف العادم - هو بديل أرخص.

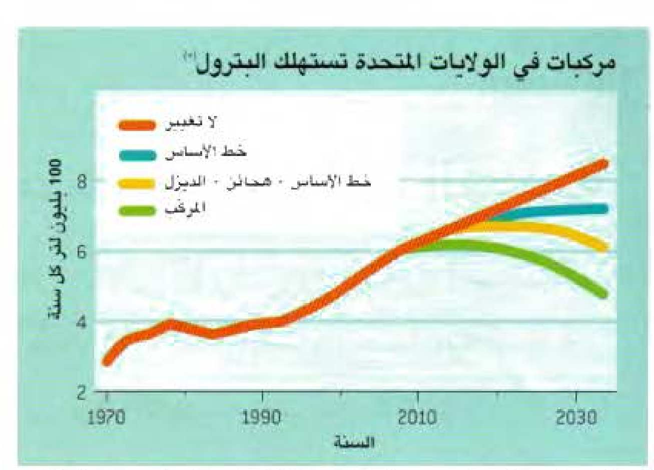
وماذا عن تقانة منظومات الدفع الجديدة؟ من المحتمل أن تتضمن الابتكارات محركات تعمل بالبنزين مطورة بشكل كبير (مثل استخدام شاحن توربيني ذي حقن مباشر للوقود)، وكفاءة أكبر لنقل الحركة، واستخدام ديزل ذي انبعاث منخفض مع حفازات ومصايد حبيبات في العادم(5). وربما تضمن الأمر أيضا مقاربات جديدة لكيفية احتراق الوقود. وحاليا تستخدم سيارات هجينة (مهجنة) تجمع بين محرك بنزين صغير ومحرك كهربائي تشغله بطارية (مدخرة)، وإنتاج مثل هذه السيارات في نمو. وتستهلك هذه المركبات كميات أقل من البنزين في السياقة داخل المدن، ولها جدوى أقل في السياقة على الطرق السريعة، وتكلفة شراء الواحدة منها تزيد على تكلفة السيارات المعتادة بضعة آلاف من الدولارات.

ويستكشف الباحثون أنظمة دفع وأنواع وقود مختلفة بصورة جذرية، وعلى وجه الخصوص تلك التي لها إمكانية كامنة أكبر في تقليل انبعاثات غاز ثنائي أكسيد الكربون على مدى دورة حياته(6). فهناك العديد من المنظمات التي تعمل على تطوير مركبات تعتمد على خلايا الوقود الهدروجيني بطريقة هجينة مع بطارية ومحرك كهربائي. ومن المكن لهذه النظم أن تزيد كفاءة المركبة إلى الضعف، إلا أن هذه الزيادة تكون على حساب كمية الطاقة المستنفدة وعلى حساب انبعاثات الغاز خلال سيرورة إنتاج الهدروجين وتوزيعه. فإذا أمكن إنتاج الهدروجين بسيرورات تتضمن انبعاثات قليلة للغاز الكربوني وإذا أمكن ابتكار نظام عملي لتوزيع الهدروجين، كان لهذا المصدر موقع مهم كوقود ذي انبعاثات منخفضة غاز الدفيئة. ولكن

(*) Timescales for new Technologies

(1) tar sands (2) oil shale (3) oil

(4) reformulated gasoline (5) standard diesel (6) life cycle



أربعة سيناريوهات حول استهلاك البترول خلال الربع التالي من هذا القرن. «لا تغيير»: يفترض ثبات استهلاك الوقود لكل مركبة وبقاءه كما هو بمستوى استهلاك عام 2008. «خط الأساس» baseline: يتضمن إضافة تحسينات جذرية في التقانة؛ في حين أن «خط الأساس + هجائن hybrids + الديزل» يفترض الإضافة التدريجية للمركبات الهجينة (بنزين-كهرباء) ومركبات الديزل لأساطيل النقل؛ ويضيف «المركب» composite إلى المزيج السابق تخفيض تزايد بيع المركبات وتخفيض معدل المسافات المقطوعة بالسياقة.

تلزم اختراقات تقانية كبيرة وعقود عديدة قبل أن يصبح النقل المعتمد على الهدروجين واقعا ويكون له تأثير واسع الانتشار.

وبطبيعة الحال، فإن الهدروجين حاملٌ للطاقة وليس مصدرا لها. والكهرباء حامل للطاقة بديل، يمكنها توليد الطاقة من دون إطلاق ثنائي أكسيد الكربون، وهذا حدا بفرق بحث عديدة للعمل على استخدامها في وسائل النقل. إن التحدي الرئيسي يكمن في قدرة بطارية على خزن طاقة كافية لمدى سياقة معقول وبتكلفة مقبولة. ومن العوائق التقنية أيضا الزمن الطويل اللازم لشحن البطارية: إذ سيكون على من كان معتادا على ملء خزان وقود سيارته بسعة 20 گالون خلال أربع دقائق أن ينتظر عدة ساعات لشحن البطارية. وإحدى الطرائق لتجاوز القصور في المدى للسيارات الكهربائية هو السيارات الهجينة التي توصل بمقبس (مأخذ) الكهرباء، والتي تتضمن محركا صغيرا لشحن البطارية وقت اللزوم. وعندئذ تكون الطاقة المستنفدة في أغلبها كهربائية وجزءًا منها فقط من وقود المحرك. وحتى الآن، نحن لا نعلم فيما إذا كان هذا النوع من التقنية الهجينة سيبرهن على جاذبيته الواسعة في السوق.

وماعدا تبني أنظمة دفع مطوّرة، فقد يؤدي التحول إلى مواد أخف وبنى للسيارات مختلفة إلى تقليل وزن المركبة وتحسين استهلاك الوقود من دون إنقاص حجم المركبة. ومن الواضح أن الجمع بين استخدام مواد أخف وتقليص حجم المركبات يؤدي إلى تأثير إيجابي أعظم. ومن الممكن أن تتغير طريقة استخدامنا للمركبات في المستقبل تغييرا جذريا عن طريقتنا في «السيارة ذات الأغراض العامة». فمثلا شركة فولكسفاگن لديها نموذج لسيارة صغيرة لراكبين تزن 290 كغ (460 پاوند) وتستهلك لتر بنزين لكل 100 كم (نحو 240 ميل لكل گالون) - في حين أن المركبات الصغيرة المتوافرة حاليا في الولايات المتحدة الأمريكية تستهلك وسطيا 10 لترات لكل 100 كم (أي أقل بقليل من 25 ميل لكل گالون). ويرى البعض أن تقليص حجم المركبة يقلل مستلزمات السلامة، ولكن من الممكن لهذا الامر أن يعالج

ترويج التغيير(**)

مما لا شك فيه أن التقانة الأفضل تؤدي إلى تحسين كفاءة استهلاك الوقود. حتى إن السوق في العالم المتقدم يمكن أن تتبنى ما يكفي من هذه التحسينات لكي توازن الزيادات المتوقعة في عدد المركبات. وكذلك فإن الزيادة المتوقعة وشبه الأكيدة في أسعار البنزين خلال العقد القادم وما بعده ستؤدي إلى تغيير في طريقة شراء المستهلكين للمركبات وطريقة استخدامها. ولكن من غير المحتمل لقوى السوق وحدها أن تكبح جماح شهيتنا المتزايدة دائما للبترول.

فمن الضروري وضع مجموعة منسقة من السياسات التنظيمية والضريبية في حيز التنفيذ حتى تتحقق مزايا تخفيض استخدام الوقود الناجمة عن هذه التطويرات المستقبلية. ومن الممكن أن تتضمن السياسات الفعالة حوافز ضريبية، وهي التي بموجبها يدفع مشترو المركبات الكبيرة المستهلكة للوقود بكميات كبيرة ضريبة إضافية، في حين يُمنح مشترو المركبات الصغيرة ذات الكفاءة في استهلاك الوقود حوافز ضريبية. ويتفق هذا الأسلوب الضريبي بشكل جيد مع المعايير الأكثر صرامة والتي تتطلب من صانعي المركبات إنتاج مركبات تستهلك وقودا أقل. وكذلك فإن إضافة ضرائب أعلى على الوقود ستحفز الناس على شراء المركبات ذات الكفاءة في الوقود. ومن الممكن للحوافز الضريبية أن تحدث تغيرا أسرع في التحول إلى التقانات الجديدة في مؤسسات الإنتاج. ولعله من الضروري الأخذ بجميع الإجراءات السابقة لمتابعة سيرنا قدما إلى الأمام. ■

(*) U.S. Vehicle Petroleum Use

(**) Promoting Change

المؤلف

John B. Hoywood

أستاذ Sun Jae للهندسة الميكانيكية ومدير مختبر سلون للمركبات في معهد ماساتشوستس للتقانة (MIT). وقد تلقى «هويوود» تعلمه في كل من جامعتي كمبردج والمعهد MIT، حيث أصبح عضوا في هيئتها التدريسية عام 1968. وهو مؤلف الكتاب الشائع الاستخدام Internal Combustion Engine Fundamentals (McGraw-Hill, 1988)، وعضوٌ في الأكاديمية الهندسية الوطنية والأكاديمية الأمريكية للفنون والعلوم.

مراجع للاستزادة

Reducing Gasoline Consumption: Three Policy Options. Congressional Budget Office. November 2002. Available at **www.cbo.gov/ftpdocs/39xx/doc3991/11-21-GasolineStudy.pdf**

Reducing Greenhouse Gas Emissions from from U.S. Transportation. David L. Greene and Andreas Schafer. Pew enter on Global Climate Change. May 2003. Available at **www.pewclimate.org/docUploads/ustransp pdf**

Mobility 2030. Meeting the Challenges to Sustainability. World Business Council for Sustainable Development, 2004. Available at: **www.wbcsd.org/web/publiccations/mobility/mobility-full-pdf.**

DOE FreedomCAR and Vehicle Technologies Program's Fact of the Week **www1.eere.energy.gov/vehiclesandfuels/facts/2006-index.html**

Scientific American, September 2006

أسباب غير نيزكية للانقراضات الجماعية القديمة[*]

غازات خانقة وحرارة مرتفعة انبعثت من باطن الأرض والبحار، أسبابها غير نيزكية (كويكبية)، أحدثت على الأرجح عدة انقراضات جماعية قديمة. فهل يمكن أن تتشكّل من جديد شروط الدفيئة القاتلة نفسها؟

«P. D. وورد»

أشار الفيلسوف والمؤرّخ «S. Th. كُهْن» إلى أن فروع المعرفة العلمية تتطور إلى حد ما مثل الكائنات الحية. وعوضا عن تطوّرها ببطء، فإنّها تتمتّع بمدد طويلة من الاستقرار تقطعها ثورات قليلة الحدوث وذلك بظهور أنواع جديدة ـ وبتطوّر العلم تظهر نظريات جديدة. ويناسب هذا الوصف بصورة خاصة حقل دراستي: أي أسباب الانقراضات الجماعية ونتائجها ـ تلك الثورات البيولوجية الدورية عندما كان ينقرض جزء كبير من مخلوقات الأرض الحية ولا يعود بعدها أي شيء لما كان سابقا.

ومنذ تعرُّف هذه الانقراضات الجماعية التاريخية أول مرة، قبل نحو قرنين من الزمن، اعتقد علماء الأحافير أنها كانت أحداثا تدريجية سبّبتها تغيّرات مناخية وقوى بيولوجية، مثل الافتراس والتنافس والمرض. ولكن في عام 1980، تعرّض فهم الانقراضات الجماعية إلى ثورة «كُهْنية» (نسبة إلى الفيلسوف كهن). عندما أشار فريق من الباحثين [بجامعة كاليفورنيا في بركلي] بقيادة الجيولوجي «W. ألفاريز»، إلى أنّ الانقراض الشهير القاتل للدينوصورات، قبل نحو 65 مليون سنة، حدث بسرعة نتيجة كارثة في النظام البيئي أعقبت تصادم نيزك (كويكب) مع الأرض. وعلى مدى العقدين التاليين، أحرزت فكرة إمكانية قتل جزء كبير من الحياة على الأرض بنيزك من الفضاء قبولا واسعا ـ إذ اعتقد كثير من الباحثين في النهاية أنّ فتات الصخر الناتجة من تصادم نيزك مع الأرض سبّبت على الأرجح ثلاثة انقراضات على الأقل من الانقراضات الجماعية الخمسة الكبرى. وقد اتخذ قبول الجماهير لهذه الفكرة شكلا محدّدا مع إنتاج هوليود السينمائي الفائق المتمثّل بالفيلمين **ديب إمباكت** *Deep Impact* **وأرماكدون** *Armageddon*.

وفي الوقت الحاضر، فإن تحوّلا آخر في تفكيرنا حول ماض متقطّع للحياة مازال في طور التشكّل. إن هناك دليلا جيوكيميائيا جديدا[1] موجودا في مجموعات من الصخور المتطبّقة[2] التي تمثّل أحداث الانقراض الجماعي في السجل الجيولوجي. ويتضمّن الدليل الاكتشاف المثير لبقايا كيميائية دعيت **مؤشرات بيولوجية (حيوية)** biomarkers عضوية، تنتجها أشكال الحياة الدقيقة التي لا تترك بقايا أحفورية. وتوضّح هذه البيانات مجتمعة أنّ التصادم الكارثي كسبب للانقراض الجماعي كان الاستثناء، وليس القاعدة. وفي معظم الحالات، يبدو أنّ الكرة الأرضية نفسها أصبحت العدو الأسوأ للحياة في أسلوب لا يمكن تصوّره من قبل. وقد تضع نشاطات البشر الحالية الغلاف الحيوي في خطر مرة أخرى.

وفقا للجيولوجي «ألفاريز»[**]

ومما يساعد على فهم الحماس العام لنموذج التصادم مراجعةُ الأدلة التي غذّته. فالسيناريو الذي وضعه الجيولوجي «W. ألفاريز» بالاشتراك مع والده الفيزيائي «L. W. ألفاريز» والمختصين بالكيمياء النووية «H. V. ميتشل» و«F. أسارو»، يحتوي على فرضيتين منفصلتين. الأولى تفترض أنّ نيزكا كبيرا إلى حد ما ـ قُدّر قطره بنحو 10 كم ـ ضرب الكرة الأرضية قبل نحو 65 مليون سنة. والفرضية الأخرى هي أنّ النتائج البيئية للتصادم أدت إلى نفوق أكثر من نصف عدد أنواع الكائنات الحية. فقد وجدوا آثارا خلّفتها الصدمة في الغبار المترسب على شكل طبقة ثخينة من الإيريديوم ـ وهو عنصر فلزي نادر على الأرض ولكنه شائع في مواد أصلها من خارج الكرة الأرضية.

وفي غضون عقد من الزمن من هذا الإعلان المدهش كُشفت «بصمة القاتل» على شكل حفرة ارتطام تشيكسولب Chicxulub مختفية في سهل منبسط بشبه جزيرة يوكاتان في المكسيك. فقد أزال اكتشافها معظم الشكوك المتبقية حول انتهاء الدينوصورات بضربة واحدة. وفي الوقت نفسه، أثارت شكوكا جديدة حول أحداث الانقراضات الجماعية الأخرى: إذا كان أحدها قد حصل بسبب تصادم، فما الذي حصل بشأن بقية الانقراضات؟ في الواقع، لقد أُبيد معظم أشكال الحياة على الأرض خمس مرات في أثناء الـ500 مليون سنة الماضية من تاريخ الأرض. فقد جرى أول حدث من هذا النوع في نهاية الدور[3] الأوردوفيسي، قبل نحو 443 مليون سنة. أمّا الحدث الثاني فقد حُدّد بالقرب من نهاية الدور الديفوني، أي قبل نحو 374 مليون سنة. وأكبر هذه الانقراضات هو **النفوق الكبير** the Great Dying الذي حدث في نهاية الدور البرمي ـ قبل نحو 251 مليون سنة، وقد أدّى إلى إبادة 90% من الكائنات البحرية و70% من النباتات والحيوانات، وحتى

(*) العنوان الأصلي للمقالة: IMPACT FROM THE DEEP.
(**) After Alvarez
(1) geochemical evidence
(2) strained
(3) الدور period: وهو تقسيم زمني جيولوجي أطول من **العصر** epoch ومتضمن في **الحقبة** era. (التحرير)



مكتبرات[1] كبريتية خضراء وارجوانية تستعمر نبعا حارا وتعيش في مياه خالية من الأكسجين ولكنها غنية بكبريت الهيدروجين. وبدل ازدهار هذه الكائنات الحية في المحيطات في اثناء فترات الانقراض الجماعي القديمة على شروط مشابهة مهيمنة على تلك الأزمنة

الحشرات، التي تعيش على اليابسة [انظر: «أم الانقراضات الجماعية»، **العلوم**، العدد 1 (1996)، ص 24] وحدث النفوق الواسع الانتشار مرة أخرى قبل نحو 201 مليون سنة، عند انتهاء الدور الترياسي. وأمّا آخر انقراض كبير فقد حدث بالتصادم الكبير المذكور آنفا، قبل نحو 65 مليون سنة، منهيا معه الدور الكريتاسي.

وفي بداية التسعينات من القرن العشرين، تنبأ عالم الأحافير (المستحاثات) «D. روب» في كتابه ***الانقراضات: جينات سيئة أم حظ سيىء؟*** *Extinctions: Bad Genes or Bad Luck?*، بأنّ عمليات التصادم هي المسؤولة في النهاية عن جميع هذه الانقراضات الجماعية الرئيسية وغيرها من الأحداث الأقل شدة أيضا. وبكل تأكيد، فإنّ الدليل على التصادم عند حدود[2] دوري الكريتاسي/الثلاثي[3] (K/T) كان مقنعا وسيبقى. إضافة إلى حفرة تشيكسولب وطبقة الإيريديوم الواضحة، فإنّ فتات التصادم التي تحوي حجارة متأثرة بضغط التصادم مبعثرة عبر الكرة الأرضية، تشهد جميعها على ذلك. وهناك إشارات كيميائية أخرى في الرواسب القديمة توثّق حصول تغيرات سريعة في المناخ وفي تركيب الغلاف الجوي العالمي حصلت بسرعة بعد التصادم.

وفي انقراضات أخرى، تشير الأدلة إلى التصادم أيضا. فقد سبق للحيولوجيين أن ربطوا، في بداية سبعينات القرن الماضي، طبقة الإيريديوم الرقيقة بانقراضات نهاية الدور الديفوني. وفي عام 2002، أشارت اكتشافات منفصلة إلى عمليات تصادم عند حدود نهاية الدور الترياسي ونهاية الدور البرمي. كما لوحظت آثار قليلة من الإيريديوم في طبقة نهاية الدور الترياسي. أمّا بالنسبة إلى الدور البرمي فإن جزيئات «**كريات بوكي**» buckyballs الكربونية المتميّزة التي تحوي غازات كونية (من خارج الكرة الأرضية) حبيسة داخلها، تُضيف برهانا محيّرا آخر[4]. وهكذا توصّل الكثير من العلماء، إلى

(1) جمع مكتبرة (2) boundaries (3) Tertiary

(4) انظر: "Repeated Blows," by Luann Becker, Scientific American, March 2002

الاشتباه في أنّ النيازك (الكويكبات) أو المذنبات كانت مصدر أربعة من الانقراضات الجماعية «الخمسة الكبيرة». والاستثناء كان الحدث الذي حصل في نهاية الدور الأوردوفيسي. واعتبر نتيجة إشعاع انبعث من نجم انفجر في الكون القريب منا.

ومع ذلك استمر الباحثون في سبر البيانات في السنين الحديثة، ووجدوا أنّ هناك بعض الأشياء، لم تؤخذ بالحسبان. فقد أشارت تحاليل جديدة للأحافير إلى أنّ الانقراضات الترياسية والپرمية كانت سيرورات مستمرة استغرقت مئات الألوف من السنين. ويبدو أنّ دليل ارتفاع الكربون الجوي وانخفاضه المعروف بـ«دوران الكربون»[1]، الذي تم الحصول عليه حديثا، يشير إلى أنّ الغلاف الحيوي قد تعرّض لسلسلة متواصلة طويلة الأمد من الأذى البيئي أكثر من تعرّضه لضربة كارثية واحدة.

يمكن للأرض أن تبيد قاطنيها، ومن المحتمل أنّها فعلت ذلك.

ليس تصادما سريعا «مفاجئا» إلى هذا الحد[2]

كان الدرس المستخلص من حادثة ارتطام جرم كبير بالأرض عند حدود الكريتاسي/الثلاثي أنّه يشابه زلزالا شديدا أدّى إلى تسوية مدينة: كارثة مفاجئة ومدمّرة وفي مدة قصيرة - وبعد انتهائها، تبدأ المدينة بالإعمار بسرعة. وهذه السرعة من الدمار واستعادة الوضع التالي تنعكسان في بيانات نظائر الكربون المتعلّقة بانقراضات الكريتاسي/الثلاثي وكذلك في السجل الأحفوري، مع أن التأكّد من هذا السجل قد استغرق من المجتمع العلمي بعض الوقت. وقد كان النفوق المتوقع والمفاجئ عند حدود الكريتاسي/الثلاثي مرئيا بالفعل بين الأحافير الأصغر والأكثر عددا وهي **العوالق** planktons الكلسية والسيليسية وفي أبواغ النباتات. ولكن يبدو أنّه كلما كانت الأحافير أكبر، في مجموعة ما، كان انقراضها يتم تدريجيا.

وبكل أناة، فهم علماء الأحافير أنّ هذا الشكل من الإبادة الظاهرية «التدريجية» كان متأثرا بقلة عينات الأحافير الكبيرة وببعثرتها في معظم طبقات الترب والصخور التي دُرِست. ولمعالجة مشكلة أخذ العينات والحصول على صورة أوضح لسرعة الانقراض، طوّر عالم الأحافير <. مارشال> [من جامعة هارڤارد] طريقة إحصائية جديدة لتحليل **المدى الزمني** ranges لوجود الأحافير. وبتحديد احتمال انقراض نوع معين في فترة زمنية مفترضة، تعطي هذه الطريقة التحليلية أكبر كمية من المعلومات المستخلصة من الأحافير، وحتى النادرة منها.

وفي عام 1996 وحّدنا جهودنا مع جهود <مارشال> لاختبار طريقته في دراسة مقاطع استراتيكرافية (طبقية) للحدود بين الكريتاسي والثلاثي. فتبيّن في نهاية الدراسة أنّ الذي بدا وكأنّه انقراض تدريجي للحيوانات البحرية الأكبر والأكثر غزارة - وهي **الأمونيتات** Ammonites [أحافير من الرخويات ترتبط بصلات قربى مع **النوتيلوس** Nautilus ذي الحُجيرات] في أوروبا - كان متوافقا، في الواقع، مع اختفائها المفاجئ عند الحدود نفسها بين الكريتاسي والثلاثي. أمّا الدراسات التي أجرتها مجموعتي للطبقات التي تُمثّل البيئات البحرية والبرية على السواء للقسم الأعلى من الدورين البرمي والترياسي، فقد بيّنت وجود تعاقب متدرّج للانقراضات يتجمّع في جوار تلك الحدود.

وقد انعكس هذا النمط من الإبادة أيضا في سجل نظائر الكربون الذي يعدّ أداة فعّالة أخرى لفهم **معدلات** rates الانقراض. فالكربون يوجد في **ثلاثة نظائر** isotopes، لها أعداد مختلفة قليلا من الجسيمات المشحونة بشحنة معتدلة في النواة. ويعرف الكثير من الناس أحد هذه النظائر وهو الكربون 14 (^{14}C)، لأن اضمحلاله غالبا ما يستخدم في تأريخ هياكل أحافير محدّدة أو عينات من الرواسب القديمة. ولكن من أجل تفسير الانقراضات الجماعية، هناك نوع أكثر فائدة من المعلومات تُستخلص من السجل الأحفوري، ألا وهو النسبة بين النظيرين (^{12}C) و (^{13}C) التي تؤمّن معلما أوسع لنشاط حياة النبات في ذلك الوقت.

ويعود ذلك إلى أنّ التركيب الضوئي مسؤول، إلى حد كبير، عن تغيير النسبة بين (^{12}C) و (^{13}C). فالنباتات تستخدم الطاقة الشمسية لشطر ثنائي أكسيد الكربون (CO_2) إلى كربون عضوي تستثمره لبناء خلاياها وللتزود بالطاقة. ولحسن حظ الحيوانات والبشر يمثّل الأكسجين الحر منتجها الثانوي. ولكن النباتات تُدقّق في انتقائها: فهي تنتقي بصورة تفضيلية ثنائي أكسيد الكربون الذي يحوي النظير ^{12}C. وهكذا عندما تكون حياة النباتات مزدهرة - فيما إذا كانت على شكل ميكروبات أو طحالب طافية أو أشجار طويلة تقوم بسيرورة التركيب الضوئي - فإنّ نسبة ثنائي أكسيد الكربون المتبقية في الغلاف الجوي الذي يحوي النظير ^{13}C تكون أعلى، ونسبة ثنائي أكسيد الكربون الذي يحوي النظير ^{12}C تكون أدنى، وهي نسبة يمكن قياسها.

وبفحص نسبة النظائر في عينات ما قبل الانقراض والتي في أثنائه وما بعده، تمكّن الباحثون من الحصول على مؤشّر موثوق يدل على كمية حياة النباتات على اليابسة وفي البحار على السواء. وعندما

نظرة إجمالية/ الانقراضات الجماعية[**]

- **أبيد أكثر من نصف أشكال الحياة على الكرة الأرضية بصورة متكرّرة في انقراضات جماعية على مدى الـ500 مليون سنة الماضية.**
- **كثيرا ما نسبت إحدى هذه الكوارث - التي تتضمّن انقراض الديناصورات - إلى تصادم نيزك (كويكب)، غير أن تفسير الكوارث الأخرى بقي غير كاف.**
- **يشير دليل جيوكيميائي وأحفوري جديد إلى أنّ آلية بيئية خانقة سبّبت أكبر الانقراضات الجماعية القديمة، ومن المحتمل أنّها سبّبت عددا من الانقراضات الأخرى؛ ألا وهي محيط مستنفد الأكسجين ينفث غازا ساما نتيجة احترار عالمي (شامل)[3].**

(**) Overview: Mass Extinctions
(1) carbon cycling
(2) Not So Sudden Impact
(3) global warming

أسقط الباحثون مثل هذه القياسات المتعلقة بانقراض الكريتاسي/الثلاثي على مخطط، ظهر شكل يسهل فهمه وبصورة متزامنة تقريبا مع تكوّن طبقة الفتات الصخري المحتوية على الدليل المعدني[1] الناتج من التصادم، تغيرت نسب نظائر الكربون - انخفاض مثير في نسبة النظير ^{13}C - لمدة قصيرة، وهذا يدل على توقف مفاجئ للحياة النباتية واستعادة سريعة لها. ويتوافق هذا الكشف مع السجل الأحفوري للنباتات البرية الكبيرة والعوالق (البلانكتونات) المجهرية على السواء، التي تعرّضت إلى خسائر مذهلة في حدث الكريتاسي/الثلاثي. ولكنها عادت بسرعة إلى وضعها التالي.

وبالمقابل فإنّ سجلات الكربون التي اكتشفها فريقي في أوائل عام 2005 للدور البرمي والسجلات التي اكتشفت حديثا للدور الترياسي، توثّق مصيرا مختلفا جدا للنباتات والعوالق في أثناء الانقراضين المذكورين آنفا. وفي كلتا الحالتين، فإن التغيرات النظائرية المتعدّدة خلال فترات تراوح بين 50 000 و 100 000 سنة، تشير إلى أنّ المجتمعات النباتية[2] قد تعرضت للإبادة ثم أعيد تشكّلها من جديد فقط قبل أن تتعرض ثانية إلى سلسلة من أحداث الانقراض [*انظر الإطار في هذه الصفحة*]. وللوصول إلى مثل هذا النمط من الانقراض لابد من تعاقب لضربات النيازك (الكويكبات) تفصل بينها آلاف السنين. غير أنه لا يوجد دليل معدني على حصول سلسلة من التصادمات في أثناء أي من الفترتين الزمنيتين المذكورتين.

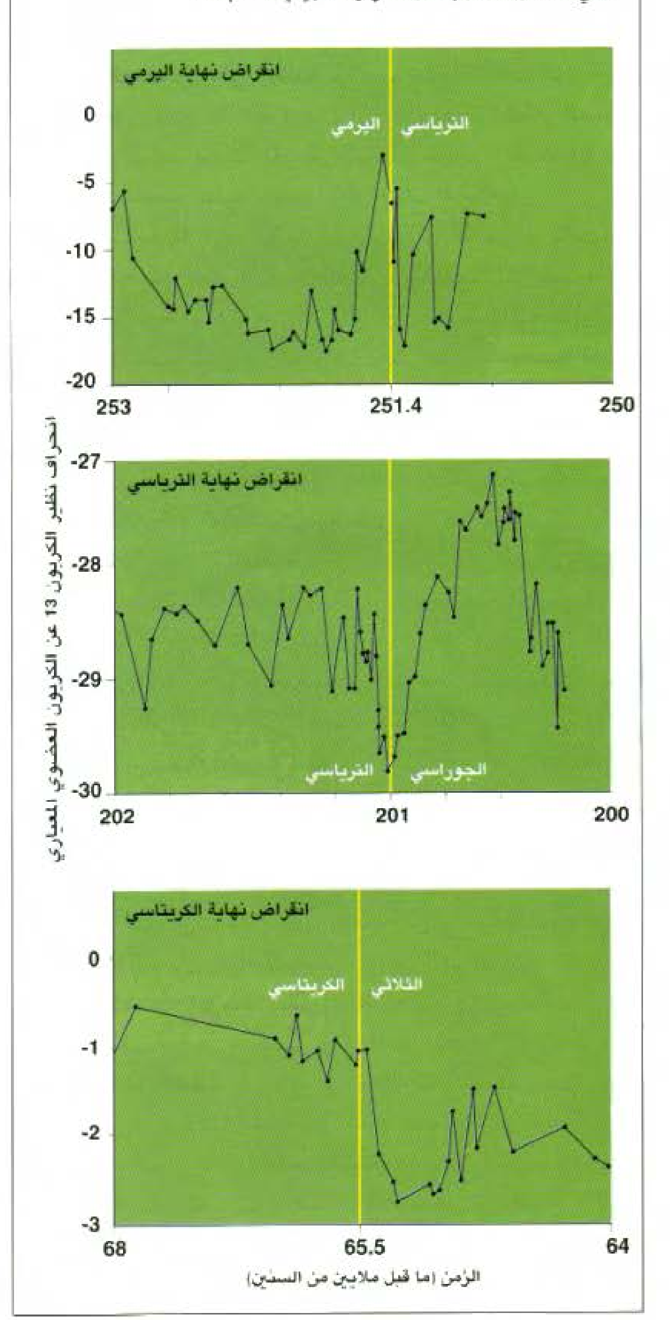
وبالفعل، فقد شككت تحريات لاحقة في احتمال حدوث أي تصادمات في أثناء الزمنين المذكورين آنفا: إذ لم تعثر أي مجموعة بحث أخرى على كريّات بوكي المحتوية على غازات من خارج الكرة الأرضية عند نهاية حدود الدور البرمي. واستُبعد أيضا الكوارتز المصدوم[3] المكتشف في تلك الفترة. كما أنّ الجيولوجيين لم يتفقوا على ما إذا كانت **فوهات** craters التصادم المزعومة الناتجة من هذا الحدث - الموجودة في قاع المحيط بالقرب من أستراليا أو تحت جليد القطب الجنوبي - هي بالفعل فوهات تصادم أو مجرد تشكيلات صخرية طبيعية. وفيما يتعلّق بنهاية الترياسي، فإنّ وجود الإيريديوم بنسبة منخفضة يمكن أن يعكس تصادم نيزك (كويكب) صغير، ولكن ليس بحجم النيزك القاتل للكوكب الذي حصل عند حدود الكريتاسي/الثلاثي. فإذا لم يتم تدعيم فكرة التصادمات سببا لهذه الانقراضات الجماعية، فما الذي أحدث إذًا الإبادات الكبرى للحياة؟ إنّ نوعا آخر من الأدلة يكشف عن أنّ الأرض نفسها يمكنها أن تُبيد قاطنيها، ومن المحتمل أنها فعلت.

ظاهرة دفيئة مخيفة(**)

قبل نصف عقد تقريبا، بدأت مجموعات صغيرة من الجيولوجيين بتوحيد جهودها مع متخصصين بالكيمياء العضوية لدراسة الشروط البيئية في الأزمنة الحاسمة من تاريخ الأرض. وقد تضمّن عملهم استخلاص بقايا عضوية من طبقات قديمة بحثا عن «أحافير» كيميائية[4] تعرف بالمؤشرات البيولوجية[5]. فبعض الكائنات الحية تُخلّف جزيئات عضوية لا تتحلل بسهولة وصارت مدفونة في الصخور الرسوبية. وهذه المؤشرات البيولوجية

أنماط الإبادة(*)

يشير نظير الكربون 13 (^{13}C) الموجود في الطبقات الجيولوجية إلى آليات عمل طويلة الأمد تدعم انقراضين من أحداث الانقراضات الثلاثة القديمة. إن نظير الكربون 13 يكون أكثر غزارة في الغلاف الجوي عندما تكون النباتات البرية والبحرية مزدهرة. وعندما تنفق الحياة النباتية نفوقا جماعيا ينخفض الكربون 13 في الغلاف الجوي انخفاضا متناسبا مع ذلك. وبمقارنة عينات قديمة مع الكربون المعياري الشائع تُكتشف انخفاضات كبيرة ومتعدّدة في نسب الكربون 13 أرشدت إلى حدود نهاية البرمي (*في الأعلى*) أو إلى حدود نهاية الترياسي (*في الوسط*). وتشير الانخفاضات إلى أزمات انقراض متعدّدة حدثت على مدى مئات الألوف من السنين. وبالمقابل فإنّ انخفاض الكربون 13 في الفترة حول الحدود الكريتاسي/الثلاثي (*في الأسفل*) تمثّل إحدى الكوارث البيئية المفاجئة.



(*) Patterns of Destruction
(**) Ghastly Greenhouse
(1) mineralogical evidence
(2) plant communicates
(3) shocked
(4) chemical fossils
(5) biomarkers

يمكن أن تستخدم دليلا على أشكال الحياة الميتة التي بقيت محفوظة فترة طويلة، والتي لا تترك عادة أية هياكل أحفورية مثلا. إن أنواعا من الميكروبات تخلف آثارا من الشحوم المتميزة الموجودة في أغشية خلاياها - آثارا تظهر بأشكال جديدة في **قياس الطيف الكتلي** mass spectrometry، وهو تقنية **تفرز الجزيئات** molecules وتميزها بحسب كتلها.

لقد وُجّه البحث في المؤشر البيولوجي أولا إلى الصخور الأقدم من تاريخ الحيوانات والنباتات، لتحديد متى ظهرت الحياة أول مرة على الأرض وتحت أي شروط. وفي السنوات القليلة الماضية، بدأ العلماء بأخذ العينات من حدود الانقراضات الجماعية[٢]. وما أثار دهشة الذين يقومون بهذا العمل أن البيانات من فترات الانقراض الجماعي، باستثناء حدث الكريتاسي/الثلاثي، أوضحت أن مياه البحار في العالم عادت أكثر من مرة إلى ظروف الانخفاض الشديد للأكسجين الموجود فيها، المعروف بحالة **الإرجاع (الاختزال)** anoxia التي كانت شائعة قبل أن تصبح النباتات والحيوانات غزيرة.

ومن بين المؤشرات البيولوجية المكتشفة بقايا عدد كبير من البكتيرات الكبريتية الخُضر الصغيرة التي تقوم بسيرورة التركيب الضوئي. وفي الوقت الحاضر، تعيش هذه البكتيرات مع أقربائها من البكتيرات الكبريتية الأرجوانية، التي تقوم أيضا بسيرورة التركيب الضوئي في البيئات البحرية **المرجعة (المختزلة)**[٣] anoxic (مثل البحيرات الراكدة والبحر الأسود)، وهي تتصف بسمية شديدة. وللحصول على الطاقة تؤكسد هذه الكائنات الحية غاز كبريت الهدروجين (H_2S)، وهو غاز سام لمعظم أشكال الحياة، وتحوله إلى كبريت. وهكذا فإن غزارتها عند حدود الانقراضات تفتح الطريق أمام تفسير جديد لسبب الانقراضات الجماعية.

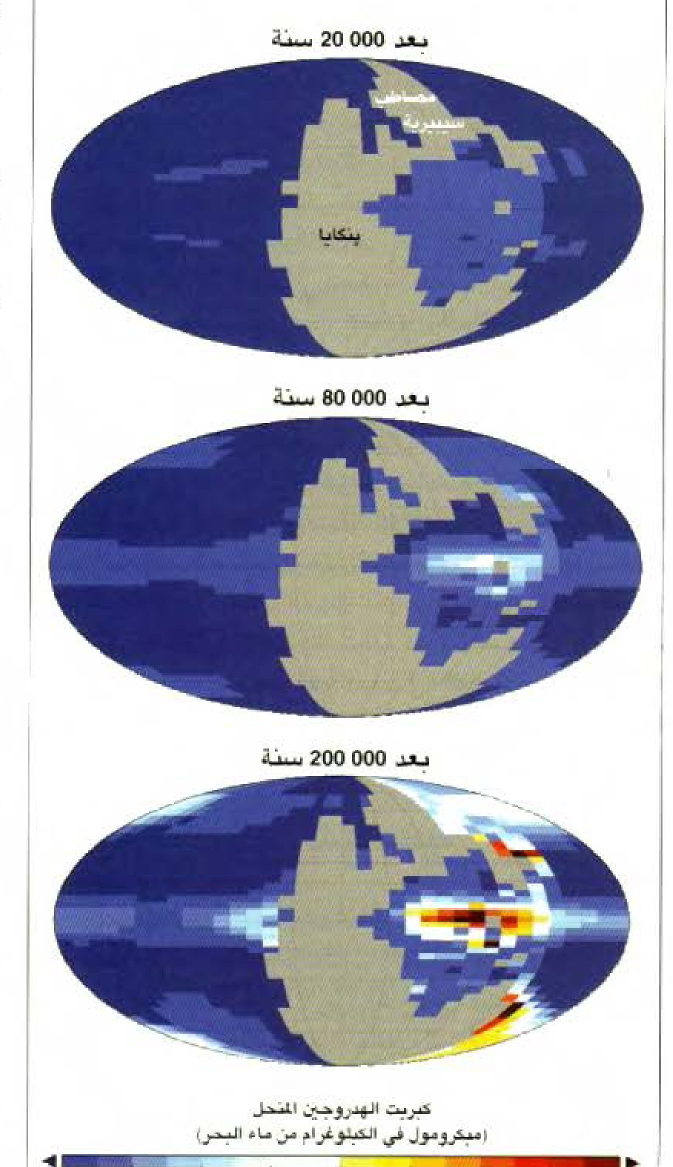
ومنذ مدة طويلة عرف العلماء، أن مستويات الأكسجين كانت أدنى من الوقت الحاضر طوال فترات الانقراض الجماعي، ولكن سبب ذلك لم يحدد بصورة صحيحة على الإطلاق. ومن المحتمل كذلك أن يكون النشاط البركاني الكبير المرافق لمعظم الانقراضات الجماعية قد رفع مستويات ثنائي أكسيد الكربون في الغلاف الجوي وخفّض نسبة الأكسجين، وأدى إلى احترار عالمي شديد - وهي نظرية بديلة، منذ عهد بعيد، للتصادمات؛ ومع ذلك فإن التغيرات التي تُحدثها **البركنة** volcanism لا يمكنها بالضرورة تفسير الانقراضات البحرية الجماعية في نهاية الدور البرمي. وكذلك لا يمكن للبراكين أن تُعلّل نفوق النباتات على اليابسة، لأنها تزدهر بزيادة نسبة ثنائي أكسيد الكربون؛ كما أنه من المحتمل أن تستمر حياتها مع الاحترار.

غير أن المؤشرات البيولوجية في الرواسب البحرية في أحدث صخور البرمي والترياسي، أعطت دليلا كيميائيا على ازدهار البكتيرات المستهلكة لكبريت الهدروجين ازدهارا كبيرا في البحار. ولما كانت هذه الميكروبات لا تعيش إلا في بيئة خالية من الأكسجين وتحتاج إلى ضوء الشمس للقيام بسيرورة التركيب الضوئي، فإن مجرد وجودها في طبقات تُمثل بيئات بحرية ضحلة هو بحد ذاته مؤشر يدل على أن سطح البحار نفسه كان في نهاية الدور البرمي خاليا من الأكسجين ولكنه كان غنيا بكبريت الهدروجين.

إن الأكسجين يوجد، بصورة طبيعية، في البحار الحالية بتركيزات متساوية من سطحها حتى قاعها؛ بسبب انحلاله في مياه البحر بدءا من الغلاف الجوي، ثم انتقاله نحو الأسفل بدوران هذه المياه. ولكن في حالات استثنائية، كتلك الموجودة في الطبقة المائية السفلى في البحر الأسود، تصبح الظروف مرجعة وتسمح بازدهار تنوع كبير من الكائنات الحية الكارهة للأكسجين في العمود المائي[٤]. وتفرز هذه الميكروبات اللاهوائية العميقة كميات كبيرة من كبريت

تسمّم بطيء[*]

تتنبأ محاكاة حاسوبية بارتفاع تركيزات كبريت الهدروجين السام واستنفاد تدريجي للأكسجين في المياه السطحية في بحار العالم في نهاية الدور البرمي. ويوضح النموذج المقدم من <M .K. ماير> و<L .R. كامب> [من جامعة ولاية بنسلفانيا] الطريقة التي أثر فيها الاحترار العالمي - الناجم عن النشاط البركاني الواسع الذي بدأ قبل نحو 251 مليون سنة في منطقة المصاطب[١] السيبيرية من قارة بنكايا Pangaea العملاقة - في المحيطات محدثا كارثة في النظام البيئي.



(*) Slow Poisoning
(١) traps
(٢) mass extinction boundaries
(٣) أو اللاتأكسجية
(٤) water column

ظاهرة الدفيئة القاتلة(*)

يفسّر نموذج جديد للانقراضين الجماعيين ـ عند نهاية الدور البرمي (قبل نحو 251 مليون سنة) وعند نهاية الترياسي (نحو 50 مليون سنة بعد ذلك) ـ كيف أمكن لاحترار عالمي شديد أن يُحدث النفوق في البحر وعلى اليابسة. إن الاضطراب يبدأ بنشاط بركاني واسع يطلق حجوما ضخمة من ثنائي أكسيد الكربون والميثان [1]. تتسبّب الغازات في احترار عالمي سريع [2]. يمتص البحر الأدفأ كمية أقل من الأكسجين من الغلاف الجوي [3]. تؤدّي حالة الإرجاع(1) anoxia إلى عدم استقرار خط التغيّر الكيميائي chemocline، حيث تلتقي المياه المؤكسدة بالمياه المزودة بكبريت الهدروجين [H_2S] الذي تطلقه البكتيرات اللاهوائية القاعية [4]. وكلما ازداد تركيز كبريت الهدروجين ونقص تركيز الأكسجين، ارتفع خط التغير الكيميائي (الكيموكلاين) بصورة مفاجئة إلى سطح البحر [5]. البكتيرات الكبريتية الخضراء والأرجوانية التي تقوم بسيرورة التركيب الضوئي وتستهلك غاز كبريت الهدروجين وتعيش عادة عند عمق خط التغيّر الكيميائي، أصبحت تعيش في المياه السطحية الغنية بغاز كبريت الهدروجين، حيث تختنق أشكال الحياة البحرية التي تتنفس الأكسجين [6]. وينتشر غاز كبريت الهدروجين أيضا في الهواء مؤديا إلى قتل الحيوانات والنباتات على اليابسة [7]. ويرتفع هذا الغاز إلى طبقة الاستراتوسفير(2)، فيتلف طبقة الأوزون الكوكبية [8]. ومن دون درع الأوزون تقتل أشعة الشمس فوق البنفسجية أشكال الحياة المتبقية [9].



(*) Killer Greenhouse Effect

(1) أي عوز الأكسجين

(2) طبقة الأوزون موجودة في الاستراتوسفير وليس التروبوسفير، كما ورد في الأصل الأجنبي خطأ



يظهر في صورة الساتل(1) انطلاق غاز كبريت الهدروجين بالقرب من شاطئ ناميبيا على شكل دوامات خضر شاحبة على سطح المحيط. وهذه الأحداث المحلية المنتظمة الناتجة من تجمّع كبريت الهدروجين في رواسب قاع البحر تقدّم اختبارا (إحساسا) صغيرا ومعاصرا(2) للظروف في أثناء عمليات الصعود الشامل(3) المقترحة لفترات متعدّدة من الانقراضات الجماعية القديمة. تملأ رائحة الكبريت الهواء ويكتسي سطح الماء بالأسماك الميتة وتهرب السرطانات التي تعاني حرمان الأكسجين إلى الشواطئ محاولة الهرب من سمية المياه.

الهدروجين الذي ينحل أيضا في مياه البحر. وعندما يزداد تركيز كبريت الهدروجين ينتشر نحو الأعلى، حيث يلتقي بالأكسجين المنتشر نحو الأسفل. ومادام توازنهما مستقرا(4) تبقى المياه المشبعة بكبريت الهدروجين منفصلة عن المياه **المؤكسدة** oxygenated، ويكون مستقرا الحدُّ الفاصل بينهما الذي يعرف **بخط التغيّر الكيميائي** chemocline. وفي ظروف نموذجية تتمتع البكتيرات الكبريتية الخضراء والأرجوانية بإمدادها بكبريت الهدروجين من الأسفل وبأشعة الشمس من الأعلى.

ومع ذلك، فقد بيّنت الحسابات التي أجراها العالمان الجيولوجيان <R .L> كامب> و<M .A> آرثر> [من جامعة ولاية پنسلڤانيا]، أنّه في حالة انخفاض مستويات الأكسجين في البحار تبدأ الشروط التي تشجع البكتيرات اللاهوائية القاعية على الازدهار وإنتاج كميات أكبر من كبريت الهدروجين. ففي النموذج الذي قدّماه، بيّنا أنّه في حالة زيادة تركيزات كبريت الهدروجين في الأعماق إلى عتبة حرجة خلال فترة الإرجاع (عوز الأكسجين) في مياه البحار، يصعد خط التغيّر الكيميائي (الكيموكلاين) - الفاصل بين المياه العميقة الغنية بكبريت الهدروجين وبين المياه السطحية المؤكسدة - إلى سطح الماء بصورة مفاجئة. وستكون النتيجة المخيفة انطلاق فقاعات كبيرة من غاز كبريت الهدروجين إلى الغلاف الجوي.

وتشير دراساتهما إلى أنّه تولدت كمية كافية من كبريت الهدروجين في نهاية البرمي **بعمليات الصعود** upwellings البحري، وهذه تسبّبت في الانقراضات على اليابسة وفي البحار على السواء [*انظر الإطار في الصفحة 12*]. وهذا الغاز الخانق لم يكن القاتل الوحيد؛ إذ بيّنت نماذج <A.> پافلوف> [في جامعة أريزونا] أنّ غاز كبريت الهدروجين سيخرّب أيضا درع الأوزون الكوكبي، وهو طبقة في الغلاف الجوي تحمي أشكال الحياة من الأشعة فوق البنفسجية الشمسية. والدليل على مثل هذا الاضطراب في طبقة الأوزون الذي حدث بالفعل في نهاية الدور البرمي، العثور على أبواغ أحفورية مشوّهة في گرينلاند يُعرف أن تشوهها ناتج من تعرّضها المديد إلى مستويات عالية من الأشعة فوق البنفسجية. ويمكن في الوقت الحاضر أيضا رؤية التناقص السريع **للكتلة الحية** biomass للعوالق النباتية في «**الفجوات**» holes الموجودة تحت درع الأوزون وبخاصة قرب القارة المتجمدة الجنوبية. وفي حالة إبادة هذه القاعدة من السلسلة الغذائية، لن يمضي وقت طويل حتى تصبح الكائنات الحية الأكبر أيضا في أوضاع لا أمل لها في الحياة.

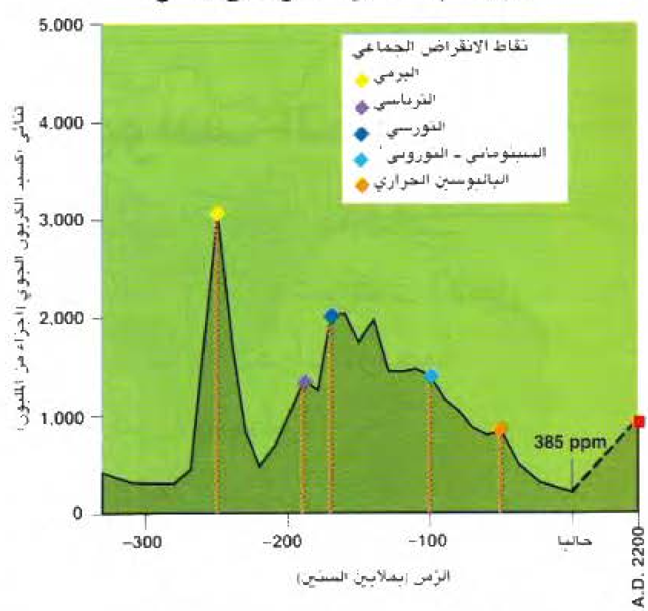
وقدّر كل من <كامب> و<آرثر> أنّ كمية غاز كبريت الهدروجين التي دخلت الغلاف الجوي من المحيطات خلال الدور البرمي المتأخّر، فاقت أكثر من 2000 مرة تلك الكمية الصغيرة التي تطلقها البراكين في الوقت الحاضر. وهي كمية كافية من الغاز السام المنطلق إلى الغلاف الجوي لقتل النباتات والحيوانات على السواء - وبخاصة أنّ درجة سمية كبريت الهدروجين تزداد مع ارتفاع درجة الحرارة. ويبدو أنّ عدة انقراضات جماعية صغيرة وكبيرة حدثت خلال فترات قصيرة من الاحترار العالمي. وفي هذا السياق يمكن إدخال النشاط البركاني القديم سببا من أسباب الانقراض.

ومن المعروف أنّ أحداثا بركانية رئيسية القت، طوال زمن الانقراضات الجماعية المتعدّدة، آلاف الكيلومترات المربعة من اللابة على اليابسة أو في قاع البحار. وكناتج ثانوي لهذا الانصباب البركاني الهائل فإن حجوما ضخمة من غازي ثنائي أكسيد الكربون والميثان قد ارتفعت إلى الغلاف الجوي وسبّبت الاحترار العالمي السريع. ففي أثناء الجزء الأعلى(5) من البرمي والترياسي، وأيضا خلال الجوراسي المبكّر والكريتاسي الأوسط والباليوسين المتأخّر وغيرها، يؤكّد سجل نظائر الكربون أنّ تركيز ثنائي أكسيد الكربون قد ارتفع بشدة وفجأة قبل بدء الانقراضات، وبقي بعدئذ مرتفعا إلى مئات الألوف - وحتى إلى عدة ملايين - من السنين.

ويبدو أنّ المحيطات كانت هي العامل الأكثر حسما. فارتفاع حرارة مياه البحار يجعل امتصاصها لأكسجين الغلاف الجوي أكثر صعوبة. وهكذا، ففي حال أنّ البركنة القديمة قد رفعت نسبة ثنائي أكسيد الكربون وخفضت كمية الأكسجين في الغلاف الجوي وأنّ

(*) Slow Poisoning
(1) أو القمر الصنعي
(2) small modern taste
(3) global upwellings
(4) undisturbed
(5) latest

هل نتجه نحو انقراض آخر؟[*]



كان غاز ثنائي أكسيد الكربون الجوي مرتفعا في أثناء الانقراضات الجماعية القديمة. وهذا يدعم الاحترار العالمي في أثناء تلك الأحداث. يبلغ الغاز CO_2 في الوقت الحاضر 385 جزءا في المليون (ppm)، وهو مرشح لأن يرتفع من 2 إلى 3 أجزاء من المليون كل سنة. وإذا استمرت هذه الزيادة فقد يقترب ثنائي أكسيد الكربون الجوي في نهاية القرن القادم من 900 جزء من المليون - أي مباشرة دون المستويات التي كانت موجودة في أثناء الانقراض الحراري الذي حصل في الباليوسين قبل نحو 54 مليون سنة.

الاحترار العالمي قد صعّب سيرورة دخول الأكسجين المتبقي في مياه المحيطات، فإنّ الشروط تصبح ملائمة للبكتيرات اللاهوائية العميقة لتوليد عمليات صعود غزيرة من كبريت الهيدروجين. وبذلك ستتأثر بشدة أولا الكائنات الحية البحرية التي تتنفس الأكسجين. في حين أن البكتيرات الخضراء والأرجوانية التي تقوم بسيرورة التركيب الضوئي وتستهلك كبريت الهيدروجين ستكون قابلة لأن تزدهر على سطح البحر **المرجع** anoxic. وعندما يقوم غاز كبريت الهيدروجين بخنق المخلوقات على اليابسة وبتخريب درع الكوكب الواقي من الأوزون، فلن يسلم - في الواقع - أي شكل من أشكال الحياة على الأرض.

وتزوّد فرضية «كامب» حول القتل الكوكبي حلقة اتصال بين الانقراضات على اليابسة وفي البحار في نهاية الدور البرمي، وتفسّر كيف تمكّنت البركنة مع زيادة ثنائي أكسيد الكربون من إحداث كلا الانقراضين. كما أنّها تفسّر الاكتشافات الغريبة للكبريت عند نهاية كل موقع من مواقع نهاية الدور البرمي. ويمكن للبحار والغلاف الجوي الساميّن أن يعلّلا أيضا الاستعادة البطيئة جدا للحياة بعد ذلك الانقراض الجماعي.

وأخيرا، إنّ هذا التسلسل المقترح من الأحداث لا يتلاءم فقط مع نهاية الدور البرمي، فقد عزي بصورة متوقعة انقراض نهاية عصر الباليوسين الأقل أهمية، قبل نحو 54 مليون سنة، إلى فترة من الإرجاع (عوز الأكسجين) في البحار حدث لسبب ما نتيجة احترار عالمي قصير الأمد. وتوضح المؤشرات البيولوجية والدليل الجيولوجي المتمثّل بالبحار المرجعة أنّ ما حدث أيضا في نهاية الترياسي والكريتاسي الأوسط والديفوني المتأخر ربّما يجعل من مثل الانقراضات الناجمة عن تأثير الدفينة الشديد ظاهرة متكرّرة في تاريخ الأرض.

ومع ذلك، فإن الشيء المقلق هو السؤال عما إذا كان للبشر أي شيء يخافونه من هذه الآلية في المستقبل: إذا حدثت من قبل، فهل يمكن أن تحدث مرة ثانية؟ ومع أنّ تقديرات المعدلات التي يدخل فيها ثنائي أكسيد الكربون الغلاف الجوي خلال كل من الانقراضات القديمة لا تزال غير مؤكّدة، فإنّ المستويات النهائية التي وقعت فيها أحداث النفوق الجماعي هي معروفة. لقد بدأ ما يسمى الانقراض الحراري[3] في نهاية الباليوسين عندما كان تركيز غاز ثنائي أكسيد الكربون في الجو أقل قليلا من 1000 جزء من المليون. وعند نهاية الترياسي كان أعلى بقليل من 1000 جزء من المليون. وفي الوقت الحاضر يبدو أنّنا لا نزال في أمان مع معدّل 385 جزءا من المليون. ومع صعود تركيز ثنائي أكسيد الكربون بمعدل جزأين في السنة، ويتوقّع زيادته إلى ثلاثة أجزاء، قد تصل مستوياته إلى 900 جزء من المليون في نهاية القرن التالي. وعندئذ يمكن أن تتحقّق الشروط التي تؤدّي إلى بداية تكوّن البحار المرجعة. والسؤال متى سيكون بعد ذلك انقراض دفينة جديد؟ هذا شيء لن يكتشفه مجتمعنا على الإطلاق. ■

(*) Headed for Another Extinction?

(1) من الدور الجوراسي (نحو 193-187 مليون سنة)

(2) من الكريتاسي الأوسط (نحو 97-88 مليون سنة)

(3) thermal extinction

المؤلف

Peter D. Ward

*أستاذ في قسم البيولوجيا بجامعة واشنطن وفي شعبة علوم الأرض والفضاء، حيث يبحث في كلا الحقلين. يتركز بحثه في حقل علوم الأرض على أحداث الانقراضات الجماعية القديمة وكذلك على تطور الحيوانات البحرية الشبيهة بالنوتيل المعروفة بالأمونيتات وانقراضها النهائي الذي نشره في مقالته الأولى في عدد الشهر 10 (1983) من مجلة ساينتفيك أمريكان. طبّق «وورد» أيضا مبادئ جمعها من دراسة أول أشكال الحياة على الأرض في الأبحاث التي يجريها معهد البيولوجيا الفلكية التابع للإدارة الوطنية للطيران والفضاء (ناسا) حول المواطن المحتملة للحياة في مكان آخر (غير الأرض). فقد درس تلك البيئات بالاشتراك مع «G. كونزالس» و«D. براونلي» في مقالة «ملاذات للحياة في كون عدائي»، نشرت في **العلوم**، العددان 9/8 (2003)، ص 56. وفي كتاب شعبي شارك في تأليفه «براونلي» بعنوان: «الأرض النادرة: هل الحياة المعقدة غير شائعة إلى هذا الحد في الكون» [Springer (2000)] Rare Earth: Complex Life Is So Uncommon in the Universe*

مراجع للاستزادة

Rivers in Time: The Search for Clues to Earth's Mass Extinctions. Peter D. Ward. Columbia University Press, 2002.

Abrupt and Gradual Extinction among Late Permian Land Vertebrates in the Karoo Basin, South Africa. Peter D. Ward et al. in *Science*, Vol. 307, pages 709–714; February 4, 2005.

Photic Zone Euxinia during the Permian-Triassic Superanoxic Event. Kliti Grice et al. in *Science*, Vol. 307, pages 706–709; February 4, 2005.

Massive Release of Hydrogen Sulfide to the Surface Ocean and Atmosphere during Intervals of Oceanic Anoxia. Lee R. Kump, Alexander Pavlov and Michael A. Arthur in *Geology*, Vol. 33, No. 5, pages 397–400; May 2005.

Scientific American, October 2006

برمجيات خبيثة تغزو الهواتف الخلوية(*)

غدت الڤيروسات الحاسوبية اليوم محمولة جوا، فأصابت الهواتف الخلوية(1) في مختلف أنحاء العالم. وبدأت شركات الأمن والمشغلون الخلويون(2) ومصنعو الهواتف بالتحرك لمواجهة هذه المهدِّدات قبل خروجها عن السيطرة.

<M. هيپّوين>

إن اليوم الذي ترقَّبَتْه أسرة الأمن الحاسوبي سنوات كثيرة أتى أخيرا في الشهر 2004/6. فقد عرفتُ وباحثون آخرون كانوا يدرسون أنواع البرمجيات الخبيثة(3)، أن ظهور تلك البرمجيات في الهواتف الخلوية أيضا هو مسألة وقت ولن يتأخر طويلا. فمع تطوُّر الهواتف الخلوية لتصبح هواتف ذكية ـ أي لتصبح قادرة على تحميل (تنزيل) البرامج من الإنترنت، والتشارك في البرمجيات فيما بينها عبر وصلات البلوتوث القصيرة المدى، والاتصال باستخدام خدمة التراسل المتعدد الوسائط (MMS)، ولوحات الذاكرة ـ نجمت عن قدرات تلك الهواتف المستحدثة مواطن ضعف جديدة. وتمكَّن الأشرار من العثور على مواطن الضعف تلك واستخدامها للإضرار بالآخرين، والأسوأ من ذلك للكسب غير المشروع.

فكما هو متوقَّع، اكتشف خبراء الأمن قبل ثلاث سنوات أول برنامج خبيث كُتب خصيصا للهواتف الذكية. وقد كان ذلك البرنامج، الذي سُمِّي كابير Cabir، ڤيروسا تقليديا الغرض منه هو إثبات فكرة، ومن الواضح أنه صُمِّم للتباهي والتفاخر. لم يسبِّب الڤيروس أيَّ أذى للجهاز المصاب(4) باستثناء تفريغ شحنة بطاريته (مدخرته) أثناء محاولته صنع نسخة من نفسه وإرسالها إلى هاتف ذكي آخر باستخدام البلوتوث. وقد فضَّل مؤلفه المغمور، الذي كان على الأرجح في مكان ما من إسبانيا، إرساله من موقع على الإنترنت عوضا عن إطلاقه حرا. لكنْ في غضون شهرين، قام عابثون آخرون بإطلاقه حرا في جنوب شرق آسيا، لينتشر من ثم في أنحاء العالم.

ومع أننا كنا نبحث عن ڤيروسات من قبيل البرنامج كابير، لم يكن خبراء الأمن مستعدين تماما للتعامل معه. فما إن قُرِع جرس الإنذار، حتى بدأتُ والعاملون معي في الشركة F-Secure، بمعاينة الڤيروس الجديد الذي كان من نوع يُعرف بالدودة [*انظر الإطار في الصفحة 19 للاطلاع على تعاريف المصطلحات*]. لكنْ لم يكن لدينا مكان آمن لدراسته. فخلافا للڤيروس الحاسوبي الذي يمكن رصده وتشريحه في حاسوب مفصول عن جميع الشبكات، فإن البرمجيات الخبيثة اللاسلكية تستطيع الانتشار، وحتى القفز فوق المحيطات في بعض الحالات، في اللحظة التي يُشغَّل الهاتف المصاب بذلك الڤيروس.

لذا أخذنا أربعة أجهزة خلوية مصابة بالبرنامج كابير إلى الملجأ الموجود في قبو مبنى مكتبنا، ووضعنا حارسا على باب الملجأ قبل تشغيلها تحسبا من دخول أحد العاملين غير العارفين بالأمر والتقاط العدوى. وفي وقت لاحق من ذلك العام، شيَّدت الشركة F-Secure مختبرين محجَّبين(5) بالألمنيوم والنحاس لا يمكن للموجات الراديوية اختراقهما، وذلك بهدف دراسة هذا البرنامج الخبيث.

صحيحٌ أن الإصدار الأول من البرنامج كابير كان بريئا نسبيا، إلا أن بعض عديمي الضمير من كتَّاب البرمجيات الخبيثة سارعوا إلى تعديله ليصبح أشد ضراوة وأذى، في حين أن آخرين بدؤوا بصنع أنواع مبتكرة من الڤيروسات. إن الڤيروسات الجوالة حاليا تستطيع تعطيل الهاتف كليا، وحذف البيانات الموجودة فيه أو إرغامه على إرسال رسائل مُكْلفة إلى أرقام هاتفية ذات تعرفة إضافية(6). وفي غضون عامين، ازداد عدد الڤيروسات التي تستهدف الهواتف الذكية من واحد إلى ما يزيد على مئتين. وهو معدل نمو يضاهي تقريبا معدل ظهور الڤيروسات الحاسوبية في السنتين اللتين تلتا ظهور الڤيروس الحاسوبي الأول في عام 1986 والذي دُعي برين Brain (أي الدماغ).

نظرة إجمالية/ الهواتف المهددة بالخطر(**)

- **ضربت أولى البرمجيات الخبيثة الموجهة إلى الهواتف الذكية ضربتها الأولى في عام 2004. إن الهواتف الذكية هي هواتف جوالة تتيح لمستخدميها تثبيت تطبيقات برمجية فيها من مصادر أخرى غير الشبكة الخلوية.**
- **لقد أُطلق أكثر من 300 نوع من البرمجيات الخبيثة ـ منها ديدان وأحصنة طروادة وڤيروسات وبرمجيات تجسُّس أخرى ـ لتهدِّد تلك الأجهزة.**
- **ومع رواج مبيعات تلك الأجهزة المتطورة على نطاق العالم، تنفتح الحلبة أمام الانتشار الواسع للبرمجيات الخبيثة. وثمة إجراءات تُتَّخذ حاليا لدرء ذلك السيناريو، لكن فرصة التصدي للهجوم لن تبقى متاحة طويلا على الأرجح.**

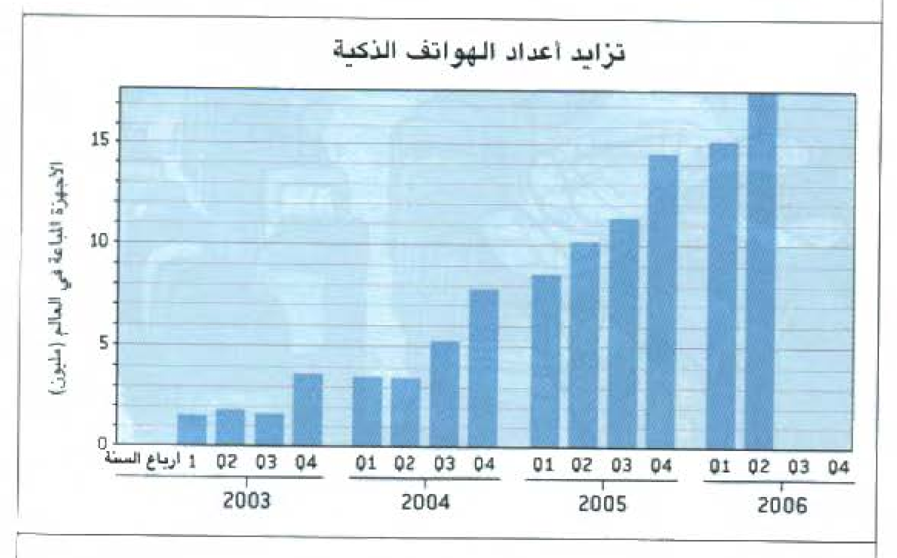
(*) MALWARE GOES MOBILE
(**) Overview: Imperiled Phones
(1) ويقال أيضا: الهاتف النقال، الجوال، الموبايل.
(2) cellular operators
(3) malware، وأصلها malicious software
(4) infected device
(5) encased laboratories
(6) premium-priced number أو premium rate number



يمكن لإصابة هاتف ذكي ببرمجيات خبيثة أن تؤدي إلى إصابة هواتف أخرى إصابة خاضعة لمفعول الدومينو domino effect.

مزيدا من الهواتف، مزيدا من الأهداف(*)

في السنوات الأخيرة، ازداد عدد الأجهزة الذكية في العالم ازديادا هائلا، وازداد معها أعداد البرمجيات الخبيثة التي أُطلقت لمهاجمتها. وهذا الخليط يمثل وصفة لكارثة: كلما ازداد حجم الجمهور المستهدف، ازداد احتمال هجوم المبرمجين الأشرار عليه. ويتوقع أن يزداد حجم الجمهور كثيرا في السنوات القادمة. ويتوقع المحللون الصناعيون بيع أكثر من 200 مليون هاتف ذكي في عام 2009.





وعلى الرغم من الجهود الجبارة المبذولة لكبح جماح البرمجيات الحاسوبية الخبيثة، فإنها تستمر بالظهور بمعدل عال. لقد جرى تحديد أكثر من 200 000 نوع منها حتى الآن، وغالبا ما يُصاب بها الحاسوب غير المحمي في غضون دقيقتين من الاتصال بالإنترنت. وكانت التكلفة الاقتصادية لعشرين سنة من الهجمات الڤيروسية الضارية مرتفعة جدا، وتتزايد هذه التكلفة بشدة مع تراجع البرمجيات الخبيثة المدرسية القديمة(2)، التي كُتبت للتباهي، أمام حقبة جديدة من «**البرمجيات الجرمية**» crimeware **المصممة للسپامات**(3) spamming أو لسرقة البيانات أو تخريبها.

أما البرمجيات الخبيثة الجوالة، ومع أنها أكثر قليلا من كونها مزعجة اليوم، فإنها يمكن أن تتفاقم سريعا لتصبح مشكلة أشد ترويعا من البرمجيات الحاسوبية الخبيثة في السنوات القادمة. إذا لم تعمل الأسرة الأمنية وشركات الشبكات الخلوية ومصممو الهواتف الذكية ومستخدموها معا لإبقائها تحت السيطرة. إن تاريخ البرمجيات الحاسوبية الخبيثة متواضع، لكنه يوافر دروسا سوف تساعدنا على التنبؤ ببعض الطرائق التي سوف يشن بها كتّاب الڤيروسات الجوالة هجماتهم في المستقبل، وعلى اتخاذ الإجراءات لإحباطها.

موجة متصاعدة(**)

في عام 1988، استبعد كثير من خبراء الحاسوب أن تكون للڤيروسات أهمية. والمؤسف أنه قد ثبت أن ذلك التقدير كان ساذجا. والوقت الآن هو عام 1988 بالنسبة إلى البرمجيات الخبيثة الجوالة. ولذا، ليس لدينا سوى نافذة زمنية قصيرة للعمل على تجنُّب تكرار أخطاء الماضي.

وأحد تلك الأخطاء هو سوء تقدير السرعة التي يمكن للبرمجيات الخبيثة أن تنمو بها من حيث الانتشار والتنوع والتعقيد. إن الانتشار هو دالة في عدد الأجهزة المضيفة(4) التي يحتمل أن تتعرض للإصابة الفعلية، ودالة في معدل إصابتها بالعدوى. كما أن عدد الأجهزة المستهدفة بالبرمجيات الخبيثة الجوالة هائل وفي نمو متصاعد. وثمة حاليا ما يزيد على بليوني هاتف خلوي في العالم.

صحيحٌ أن الغالبية العظمى من هذه الهواتف هي هواتف خلوية قديمة تعمل بنظم تشغيل خاصة مغلقة ومنيعة على العدوى الڤيروسية عموما، إلاّ أن المستهلكين أخذوا يتخلون بسرعة عنها لاقتناء أجيال جديدة من الهواتف الذكية، تعمل بنظم تشغيل ومتصفحات شبكة ووكلاء تراسل وبريد إلكتروني أشد انفتاحا. وتحوي قوارئ بطاقات **ذاكرة ومضية** flash memory وراديوهات **بلوتوث** Bluetooth قصيرة المدى. وكلٌ من هذه الوسائل يمثل قناة يمكن للبرمجيات الخبيثة النفاذ منها.

فعلى سبيل المثال، يسمح البلوتوث لبعض الديدان الجوالة بالانتشار بين الهواتف غير المحمية بمجرد الاقتراب منها، على غرار ما يحصل مع ڤيروس الإنفلونزا. إن الهاتف الذكي المزوّد بالبلوتوث يستطيع تحديد وتبادل ملفات مع أجهزة أخرى مزوّدة بالبلوتوث على مسافة 10 أمتار أو أكثر

(*) More Phones, More Targets
(**) A Rising Tide
(1) mobile malware
(2) old-school
(3) ج: سپام، وهذا تعريب لمصطلح دارج spam ويطلق على الرسائل المقحمة على بريد إلكتروني خاص [انظر: «إيقاف السپامات»، **العلوم**، العددان 4/3 (2006)، ص 44]
(4) host

وعند تنقُّل الضحايا. يمكن لأجهزتهم أن تُخلّف وراءها قافلة من المصابين. وأي مناسبة تجذب حشدا كبيرا من الناس تمثل أرضا خصبة لتكاثر ڤيروسات البلوتوث.

فمثلا، انتشر أحد أشكال البرنامج كابير السيئة جدا بسرعة كبيرة بين الجمهور في بطولة العالم لألعاب القوى عام 2005 بهلسنكي. وهذا جعل المشرفين على الملعب يعرضون تحذيرا منه على الشاشة الكبيرة. يمكن لمعظم الهواتف الذكية وضع بلوتوث في نمط غير قابل للاكتشاف(1) يحمي هذه الهواتف من غزو الديدان. لكن قلة من المستخدمين تستفيد من هذه الميزة. وحينما كنت أحاضر في مؤتمر لأمن الحاسوب في فصل ربيع عام 2006، قمت بمسح سريع للقاعة فوجدت أن نصف عدد المحترفين من الحضور تقريبا تركوا البلوتوث في هواتفهم مفتوحا كليا. وهذه النسبة بين العامة أعلى بلا ريب. ولذا فإن هذه الأجهزة تمثل ناقلا فعالا مؤرقا ينقل الطفيليات غير المرتبة.

إن عدد هذه الأجهزة المضيفة في تنام سريع. فقد بدأت الهواتف الذكية على شكل نماذج باهظة الثمن لرجال الأعمال. لكنها أخذت أخيرا بالرواج بين المستهلكين. وفي كل جيل جديد منها، يتوافر مزيد من



في المستقبل القريب جدا، يمكن للهواتف الذكية أن تشكِّل معظم حواسيب العالم.

الوظائف التي هي أكثر شبها بالوظائف الحاسوبية. وفي نفس الوقت الذي بدأت فيه الهواتف الذكية بامتلاك إمكانات جذابة، من قبيل آلات التصوير الڤيديوية وتحديد الموقع بالأقمار الصنعية (GPS) ومشغلات الموسيقى MP3، هبطت أسعارها بعد دعمها جزئيا من قبل مشغّلي الشبكات الذين يأملون بأن تشجع الإمكانات الجديدة الزبائن على إنفاق المزيد على الخدمات الخلوية. لقد باعت الشركات الصانعة أكثر من 40 مليون هاتف ذكي في عام 2005، ويتوقع المحلّلون الصناعيون رؤية 350 مليون جهاز في الخدمة بحلول عام 2009.

وفي المدى المتوسط، يمكن لهذه الأجهزة أن تُعتمد بسرعة كبيرة في الاقتصادات الناشئة، حيث ما زال اقتناء الحاسوب ضعيفا نسبيا. لقد بيّن بحث أجرته Canalys [وهي شركة استشارات في التقانات المتقدمة قرب ريدينگ في إنكلترا] أن مبيعات الهواتف الذكية في الربع الأول من عام 2006 ازدادت في أوروبا الشرقية وإفريقيا والشرق الأوسط ضعف ازديادها في أوروبا الغربية. ويتوقع المحللون الصناعيون أن بعض الدول النامية سوف تختار التخلّي عن إقامة بنية تحتية سلكية للإنترنت، وسوف تُحدث بدلا منها شبكاتها الرقمية اللاسلكية، وتروِّج الهواتف الذكية باعتبارها حواسيب رخيصة الثمن. فالاتصالات اللاسلكية يمكن أن تكون أرخص بناء وصيانة (وأسهل مراقبة وسيطرة عليها من المنظور الأمني).

فإذا ثبتت صحة هذه التنبؤات، فإنه يمكن للهواتف الذكية أن تمثّل في المستقبل القريب معظم حواسيب العالم. ويمكن لعدد كبير من المستخدمين الذين يمتلكون خبرة قليلة في الحاسوب، أو لا يمتلكون شيئا منها، أن يجوبوا الوِب ويتشاركوا الملفات بهواتفهم؛ وبذلك يوافرون لصنّاع البرمجيات الخبيثة الجوالة هدفا غافلا كبيرا جدا.

إن أحد الدروس المستقاة من الڤيروسات الحاسوبية هو أنه كلما كان الهدف أكبر كان إغراؤه للمبرمجين الأشرار أشد. فمعظم البرمجيات الحاسوبية الخبيثة لا يعمل إلا مع نظام التشغيل ويندوز من مايكروسوفت الواسع الانتشار. وللسبب نفسه، فإن جميع الديدان وأحصنة طروادة الجوالة تقريبا التي أُطلقت حتى الآن تصيب نظام التشغيل سيمبيان Symbian الذي يُشغِّل نحو 70 في المئة من الهواتف الذكية في مختلف أنحاء العالم. ومنها هواتف صنعتها الشركات نوكيا وسامسونگ وسوني إريكسون وموتورولا ومقارنة، فإن أنواعا قليلة فقط من البرمجيات الخبيثة تصيب الأجهزة PocketPC و Windows Mobile من الشركة مايكروسوفت والأجهزة Treo من الشركة بالم والأجهزة BlackBerry من الشركة موشن. لذا فإن الانحياز نحو النظام سيمبيان يفسر جزئيا سبب شيوع البرمجيات الخبيثة الجوالة في أوروبا وجنوب شرق آسيا، حيث ينتشر نظام التشغيل ذاك. أما في أمريكا الشمالية واليابان وكوريا الجنوبية فهي نادرة. فقد وزّعت شركات الهاتف الخلوي في شمال أمريكا أسواقها توزيعا متساويا تقريبا بين مختلف الأجهزة. أما أسواق اليابان وكوريا الجنوبية فقد سيطرت عليها مدةً طويلة الهواتف المعتمدة على نظام التشغيل لُنكس Linux، إضافة إلى أن الشركات هناك تُقيِّد

دليل البرمجيات الخبيثة(*)

وسائل الاختلاس الرقمي(2) phishing scam

صفحة وِب زائفة، أو بريد إلكتروني، أو رسالة نصية تُغري الغافلين كي يكشفوا عن كلمات سرهم وتفاصيلهم المالية وبياناتهم الخاصة.

برمجيات التجسُّس spyware

برمجيات تكشف عن معلومات خاصة بالمستخدم أو النظام الحاسوبي لمسترقي السمع.

حصان طروادة torjan horse

برنامج يبدو مفيدا لكنه يحتضن فعلا كودا خبيثا خفيا.

الڤيروس virus

هو في الأصل كود حاسوبي يحشر نفسه في برنامج آخر ويتكاثر أثناء عمل برمجيات الحاسوب المضيف. وتُستخدم هذه الكلمة حاليا مصطلحا عاما يشمل أحصنة طروادة والديدان أيضا.

الدودة worm

كود ذاتي التكاثر ينتشر تلقائيا عبر الشبكة.

(*) A Malware Primer

(1) nondiscoverable

(2) phishing، أي المخادعة للحصول على معلومات مالية بتلفيق معلومات عن حساب مصرفي أو بطاقة ائتمانية باستخدام بريد إلكتروني زائف. (التحرير)

تشريحُ لهجوم(٭)

حتى الشخص الذكي يمكن أن يقع فريسة لدودة جوالة حسنة التصميم من قبيل CommWarrier. لقد شوهد نحو 15 نوعا من هذا البرنامج الخبيث منذ اكتشافه في الشهر 2005/3. تستغل هذه الدودة واجهة تخاطب المستخدمين الخاصة بالبلوتوث لإقناع الضحايا بتثبيت البرنامج الخبيث في هواتفهم. وحينما تصبح عاملة، تستطيع الانتشار بسرعة عبر وصلات البلوتوث والرسائل الصوتية والمرئية وبطاقات الذاكرة.

1 حينما ركب «جمال» في الحافلة، رن هاتفه الذكي. ولكن يوجد في الحافلة هاتف آخر يحمل الدودة CommWarrior.Q التي تحاول إرسال نسخة من نفسها إلى هاتف «جمال» عبر البلوتوث.



2 ينبه الهاتف «جمال» إلى أنه سيستقبل ملفا، ويطلب موافقته على قبول الاستقبال.



4 يرغب «جمال» في إجراء مكالمة عاجلة، ولذا يوافق في النهاية على طلب الاستقبال وعلى طلبات التركيب والاستعلامات الأمنية اللاحقة. ويصير الآن هاتف «جمال» مصابا. فإذا وضع بطاقة ذاكرة هاتفه في هاتف آخر لنقل تطبيق ما، فسوف تنتقل العدوى إلى الجهاز الثاني.



5 تبدأ الدودة CommWarrior.Q في البحث عن أجهزة بلوتوث أخرى في الجوار لتنسخ نفسها إلى أي جهاز تجده، وأحيانا إلى عدة أجهزة في آن واحد.



7 ترسل الدودة الآن نسخ وسائط متعددة(١) من نفسها إلى كل رقم خلوي في دفتر عناوين «مريم»، إضافة إلى رسالة نصية مؤلفة ببراعة من رسائل كانت «مريم» قد أرسلتها.



8 وفي كل مرة تجيب فيها «مريم» عن رسالة نصية، تنحو الدودة CommWarrior.Q بالإجابة رزمة وسائط متعددة مصابة. وتتقاضى شركة الهاتف الخلوي التي تشترك «مريم» فيها أجرا عن كل رسالة ترسلها، وهذا يضخم فاتورتها.

MMS (١)

Anatomy of an Attack (٭)

3 يجيب <جمال> مشتبها «لا». لكن الهاتف يرن ويتكرر السؤال. ومادام <جمال> يجيب بـ «لا»، فإنه لا يستطيع إجراء مكالمة أو إرسال رسائل أو استخدام أي برنامج في هاتفه



6 وحينما يُرسل <جمال> رسالة نصية إلى <مريم&gt»، تُرسل الدودة فورا إليها ملف وسائط متعددة ملحقا يحتوي على نسخة منها باسم يبدو منطقيا. وحينما تفتح <مريم> الرسالة، تنتقل العدوى إلى هاتفها



أنواع التطبيقات التي يمكن للمستخدمين تثبيتها في أجهزتهم تقييدا صارما.

وسوف تكون شركات الهاتف الخلوي حكيمة إذا بدأت بتثقيف زبائنها حول كيفية تحديد الفيروسات الجوالة وتجنبها عوضا عن الانتظار حتى تتحول الإصابة بها إلى وباء. وعلى صنّاع الهواتف تزويدها ببرمجيات مكافحة الفيروسات باعتبارها جزءا من برمجياتها، تماما كما يفعل صنّاع الحواسيب حاليا. ويمكن للمشرِّعين وشركات الهاتف المساعدة على تجنب مشكلة وحدانية نظام التشغيل التي تؤذي الحواسيب، وذلك بتشجيع مجتمع متنوِّع من الهواتف الذكية لا يُهيمن فيها نوع وحيد من البرمجيات على السوق.

من الركلات إلى الجريمة[*]

لكن التنوُّع ليس حكرا على البرمجيات المفيدة فقط. فالبرمجيات الخبيثة تتحوَّل أيضا إلى أنواع جديدة تهاجم وتخرِّب البرمجيات المفيدة بطرائق متنوِّعة دائمة الانتشار. لقد انضمت إلى الفيروسات الحاسوبية الأولى لاحقا أحصنة طروادة وديدان وبرمجيات تجسُّس، وحديثا جدا انضمت هجمات الاختلاس الرقمي. ومنذ عام 2003، كان كثير من البرمجيات الخبيثة الجديدة التي ظهرت في الحواسيب قد كُتب بهدف الربح بدلا من مجرد الأذى. فعصابات الجريمة الحاسوبية المنظمة تعمل حاليا في مختلف أنحاء العالم. ويستخدم اللصوص البرمجيات الجرمية لكسب المال بسرقة البيانات المالية وأسرار الأعمال والموارد الحاسوبية. ويشكِّل صنّاع السبامات «شبكة إنسالات[1] برمجية[2]» في الحواسيب المستولى عليها لإرسال البريد الإلكتروني الكمّي[3] ووسائل الاختلاس الرقمي. ويستلب المبتزّون المال باللجوء إلى التهديد بالتخريب الرقمي أو الحصار الشبكي الذي يُغلق موقع الشركة على الوب أو مخدمات بريدها الإلكتروني. وفي بعض البلدان، لا يمكن معرفة المجرمين الحاسوبيين، لأن السلطات تفتقر إلى الخبرة التقنية أو الموارد أو الرغبة في وضع قوانين لمكافحة الجريمة الحاسوبية.

ومع تزايد كتابة الفيروسات بهدف الربح، بتفاقم أيضا احتمال الهجمات الضارية من قبل البرمجيات الخبيثة الجوالة. ففي الواقع، كلُّ مكالمة هاتفية تُجرى وكلُّ رسالة نصية أو صوتية أو مرئية تُرسل، هي عملية مبادلة مالية أيضا. وهذا يُعطي اللصوص الجشعين ومؤلِّفي الفيروسات فيضا من فرص الكسب الممكنة. إن الحواسيب لا تحتوي على نظام محاسبة، لكن الهواتف الجوالة تحتوي على ذلك النظام. ولن يمضي وقت طويل قبل استغلال الأشرار لهذه الميزة.

وقد قام بذلك فعلا شخص واحد على الأقل؛ فأحد أحصنة طروادة ويُدعى RedBrowser يرسل سلسلة مستمرة من الرسائل النصية من أيِّ هاتف يُصاب به إلى رقم هاتفي في روسيا حتى يُغلق المستخدم هاتفه. ويترتَّب على مالك الهاتف المصاب عن كل رسالة يُرسلها رسمٌ وفق تعرفة إضافية يساوي نحو خمسة دولارات. وهذا يؤدي إلى تكاليف كبيرة لا مناص للضحية البائسة من دفعها. وبعض شركات الهاتف الخلوي تعتبر زبائنها مسؤولين عن هذه العمليات المالية غير المشروعة. ولذا، يستطيع المجرمون الذين يمتلكون الرقم الهاتفي ذا التعرفة الإضافية قبض الرسوم حين تحصيلها. ومن حسن الطالع أن هذا الفيروس لم يُرَ حتى الآن إلا في روسيا.

في هذه الأثناء، بدأ مزوِّدو الخدمات في أسواق أمريكا الشمالية بطرح **المحافظ الجوالة** mobile wallets. وسوف يتمكن الزبائن من استخدام هذه الهواتف لتحويل الأموال من حساباتهم إلى حسابات آخرين بإرسال رسائل نصية ذات صيغة معينة. وتقدِّم PayPal [وهي شركة تقبل الدفعات المالية الرقمية] خدمة مشابهة تتيح للزبائن الشراء باستخدام هواتفهم. إن مثل هذه الخدمات يمكن أن تكون شديدة الأهمية لمؤلِّفي البرمجيات الخبيثة.

لذا، مع تزايد تطوُّر البرمجيات الخبيثة والقدرات التقنية والمالية للهواتف، سوف يكون لزاما علينا التحرك بسرعة في السنوات القليلة القادمة. فالعمل حاليا يمكن أن يُحبط البرمجيات الخبيثة الجوالة وهي في مهدها وفي الوقت الذي ما زالت فيه خدمات الهواتف الذكية مرنة نسبيا في تصميمها. لكن نافذة الفرص تلك لن تبقى مفتوحة طويلا.

(*) From Kicks to Crime

(1) robots ومفردها إنسالة وهي نحت من إنسان-آلي، والصفة منها إنسالي robotic والإنساليّة robotics.

(2) botnet، مجموعة من الإنسالات البرمجية التي تعمل منفردة ويستطيع منشئ المجموعة التحكم فيها من بُعد لأغراض غير نزيهة غالبا.

(3) bulk e-mail



لا تحتوي الحواسيب على نظام للفَوْتَرة(1)، أما الهواتف فتحتوي على مثل هذا النظام. ولن يمضي وقت طويل قبل استغلال الأشرار لهذه الميزة.

المزيد من الأخطار أمامنا(*)

يتضح سبب الاستعجال حينما يستعرض المرء الطرائق التي يمكن للعابثين الأذية بها باستخدام الهواتف الذكية، والتي لم يستخدموها حتى الآن. ففي الحواسيب الشخصية، كثير من أشد المؤذيات سوءا انتشر عبر البريد الإلكتروني، أو أجبر الحواسيب على ضخ سپامات (بريد دعائي كمي) إلى الإنترنت. أما البرامج الضارة التي أطلقت حتى الآن للهواتف الذكية، فلم يستفد أيٌّ منها من قدرات تلك الأجهزة على إرسال بريد إلكتروني. لكنْ لن يمضي وقت طويل قبل ظهور برمجيات خبيثة تستطيع الانتشار بوصفها ملحقات بريد إلكتروني أو تستطيع تحويل الهواتف إلى إنسالات إرسال للسپامات.

أما برمجيات التجسس فتمثل مشكلة متفاقمة أخرى في عالم الحواسيب. فاحتمال وصول هذه البرمجيات إلى الهواتف للقضاء على الخصوصية أمر جلي، ولم يصادَف من هذه البرمجيات إلا القليل حتى الآن. ويُدعى أحدها FlexiSpy، الذي يُرسل دوريا وخلسة سجل مكالمات الهاتف ورسائله الموسيقية والڤيديوية المرسلة والمستقبلة إلى طرف ثالث. لكنْ على مسترق السمع الوصول إلى جهاز الهاتف فيزيائيا لتحميل وتثبيت ذلك البرنامج التجسسي فيه.

ولكن قد لا يمضي وقت طويل قبل أن يُدخل العابثون هذا النوع من التجسس في ڤيروسات تتكاثر ذاتيا. لذا، ونظرا لظهور هواتف جديدة تتمتع بالقدرة على تسجيل الصوت، فإن على الشركات الصانعة أن تعتني عناية كافية لكي تصمن أن هذه الخصائص لا يمكن أن تُستغل بسهولة من البرمجيات الخبيثة وتمكّنها من تسجيل المكالمات ثم توجيهها إلى جاسوس.

وثمة حقيقة مفاجئة وهي أنه ليس من بين ما يزيد على الثلاثمئة نوع من البرمجيات الخبيثة الجوالة التي أُطلقت حتى الآن ما يستغل أخطاء البرمجة أو عيوب التصميم الأمنية لحشر نفسه في جهاز غير منيع. إن هذه طريقة شائعة منذ مدة طويلة للڤيروسات وأحصنة طروادة الحاسوبية.

وبدلا من ذلك، اعتمد كتّاب البرمجيات الخبيثة حتى الآن كليا على «الهندسة الاجتماعية»: أي على خداع المستخدمين بجعلهم يسمحون بإرادتهم بتثبيت البرنامج الخبيث في هواتفهم. فبعض تلك البرامج يموّه نفسه على شكل وسيلة مفيدة أو لعبة مرغوب فيها. أما بعضها الآخر، وبخاصة البرنامجين كابير وComm-Warrior اللذين ينتشران عبر البلوتوث، فلا يفعل ذلك. إن كثيرا من الناس يقبلون الملفات حتى عندما يحذرهم الجهاز من الخطر الأمني ويعطيهم فرصة لرفض البرمجيات الغريبة.

لقد سألتُ، وباحثون آخرون، أناسا وقعوا ضحية لمثل هذه الڤيروسات: لماذا نقرتم على «نعم»؟ وكان الجواب عموما أنهم لم يفعلوا ذلك في البداية، فقد اختاروا «لا». لكن السؤال ظهر ثانية على الشاشة. إن الدودة، كما ترى، لا تقبل «لا» جوابا، ولا تترك مجالا للمستخدم لفتح قائمة الخيارات وإيقاف البلوتوث [انظر *الإطار في الصفحتين 20 و 21*]. ومن سوء الطالع أنه حتى الإصدارات الحديثة من معظم الهواتف الذكية تسمح باعتداء البلوتوث المتكرر الذي يحرم الشخص من استخدام الهاتف إلى أن يقبل استقبال الملف (أو إلى أن يخرج من مجال تغطية الجهاز المصاب الذي يرسل الطلب. لكن قلة من الناس تعلم أنها تمتلك هذا الخيار).

استباق المشكلة(***)

إن الأمل الوحيد لمنع البرمجيات الخبيثة الجوالة من تخريب أداء الهواتف الذكية وتخفيض قيمتها هو اتخاذ إجراء سريع وحاسم من قبَل جميع المعنيين. إن برمجيات مكافحة الڤيروسات المتاحة حاليا من كثير من الشركات تستطيع تحصين وتطهير الهواتف الذكية من الڤيروسات. لكن قلة من المستخدمين تستخدم مثل هذه الحماية، وهذا يجب أن يتغيّر.

ويجب أن تحتوي الهواتف أيضا على جدران نار(2) تحذِّر المستخدم حينما يسيطر برنامج ما على المبادرة لإقامة اتصال بالإنترنت، وهذا شيء مهم وبخاصة لحماية الهواتف الذكية التي تستطيع الاتصال بالشبكات WiFi (التي تدعى أيضا 802.11)، ومنها مباشرة بالإنترنت. إن كثيرا من

بعض برمجيات حماية الهواتف الذكية(**)

الشركة	اسم البرنامج	نظام التشغيل المدعوم
F-Secure	Mobile Anti-Virus	PocketPC, Symbian, Windows Mobile
	Mobile Security	Nokia Communicators
McAfee	VirusScan Mobile	PocketPc, Symbian, Windows Mobile
Symantec	AntiVirus for Handhelds	Palm, PocketPc, Windows Mobile
	Mobile Security	Symbian
Trend Micro	Mobile Security	PocketPC, Symbian, Windows Mobile

(*) More Dangers Ahead
(**) Some Protective Software for Smartphones
(***) Staying a Step Ahead
(1) billing system
(2) fire-walls

دليل البرمجيات الخبيثة الجوالة(*)

الاسم	النوع وطريقة العدوى	المفاعيل
كابير Cabir (اكتُشف في الشهر 2004/6)	دودة. تتصل بأجهزة بلوتوث أخرى وتُرسل إليها نسخا من نفسها.	بحث دائم عن بلوتوث. تفريغ بطارية (مدخرة) الهاتف
CommWarrier (اكتُشف في الشهر 2005/3)	دودة. تتكاثر عبر البلوتوث، وترسل نسخا من نفسها على شكل ملفات وسائط متعددة إلى أرقام موجودة في دفتر عناوين الهاتف، وتجيب تلقائيا عن الرسائل النصية القصيرة ورسائل الوسائط المتعددة الواردة. تضع نسخة من نفسها في بطاقة الذاكرة القابلة للإزالة وتحشر نفسها في ملفات تثبيت تركيب البرامج في الجهاز.	ينكِّد بعض المستخدمين رسما عن كل ملف وسائط متعددة تُرسله الدودة. تُعطِّل بعض أشكال الدودة الجهاز كليا.
Doomboot (اكتُشف في الشهر 2005/7)	حصان طروادة. ينتحل صفة لعبة الڤيديو Doom 2، مغريا المستخدمين باستقباله وتركيبه لديهم.	يمنع الهاتف من الإقلاع ويُرسي فيه البرنامجين Cabir و CommWarrier.
RedBrowser (اكتُشف في الشهر 2006/2)	حصان طروادة. وصفُ خادع في موقع شبكة يعرض كثيرا من البرامج القابلة للتحميل (التنزيل) ويغري المستخدمين بتركيب هذا البرنامج المكتوب باللغة جافا الذي يعمل في مئات من النماذج الهاتفية.	يرسل خلسة سلسلة من الرسائل النصية بتعرفة مخصوصة تساوي 5 دولارات لكل منها إلى رقم هاتفي في روسيا.
FlexiSpy (اكتُشف في الشهر 2006/3)	برنامج تجسُّس. يحمَّل من الإنترنت، ويُركّبه عادة في الجهاز شخص غير مالكه.	يُرسل سجل مكالمات الهاتف ونسخا من الرسائل النصية ورسائل الوسائط المتعددة إلى مخدِّم إنترنت تجاري ليطلع عليها طرف ثالث.

شركات الهاتف الخلوي تُخضع الحركة ضمن شبكات البيانات GPRS(2) و UMTS(3) التي تستخدمها أجهزتها الجوالة إلى سيرورة ترشيح شديد. أما الشبكات WiFi المفتوحة فلا تستخدم مثل هذه الحماية. ولذا، على غرار بعض شركات الهاتف التي ترشِّح فعلا حركة التراسل المتعدد الوسائط (MMS) عندها لإزالة الرسائل التي تحمل ملحقات خبيثة، فإن على الجميع فعل ذلك.

لقد انضم بعض شركات صناعة الهاتف الكبرى إلى **مجموعة الحاسوب المؤتمنة (الموثوقة)** Trusted Computing Group التي عملت على وضع مواصفات صناعية قياسية لدارات إلكترونية ميكروية (صغرية) ضمن الهواتف تُعيق وصول البرمجيات الخبيثة إلى معلومات حساسة في ذاكرة الجهاز أو الاستيلاء على آلية الدفع المالي فيها. وقد أطلقت الشركة سيمبيان أخيرا إصدارا جديدا من نظام تشغيل ذي أداء محسَّن لحماية الملفات المهمة، ويتطلب من مؤلفي البرمجيات الحصول على **شهادات رقمية**(4) من الشركة. إن نظام التشغيل الجديد من سيمبيان يرفض تثبيت البرامج غير المرفقة بشهادة. وإذا لم يوقف المستخدم عمل نظام التشغيل هذا، فإن النظام يرفض بكفاءة جميع البرمجيات الخبيثة الجوالة التي اكتُشفت حتى الآن.

ويمكن للحكومات أيضا أن تؤدي دورا أشد كفاءة مما فعلته حتى الآن. صحيحٌ إن معظم الدول سنَّت قوانين لمكافحة اختراق الحواسيب العادية والحواسيب الموجودة ضمن الهواتف الخلوية، إلا أن تطبيق تلك القوانين ليس صارما أو غير قائم في معظم أنحاء العالم. وكثير من أشد الأمم تضررا من هجمات البرمجيات الخبيثة الجوالة، مثل ماليزيا وإندونيسيا والفلبين، لا تَجمع دائما الإحصاءات الموثوق بها في الوقت المناسب للمساعدة على ملاحقة الجرائم البرمجية.

من جانبنا، درس الفريق العامل معي، إضافة إلى آخرين من أسرة البحث الأمني، على نحو فعال نظامي التشغيل Symbian وPocketPC، وذلك بحثا عن مواطن ضعف في كودهما وفي تصميمهما قد تُوافر منفذا للبرمجيات الخبيثة. ونأمل العثور على هذه الثغرات بحيث يمكن إصلاحها قبل أن يستغلها الأشرار في الجولة الحتمية القادمة من هذه الحرب المستمرة. ■

(*) A Besting of Mobile Malware

(1) effects

(2) General Packet Radio Service، أي خدمة الرزم الراديوية العامة، وهي تقانة تقع بين جيلي الهاتف الخلوي الثاني والثالث.

(3) Universal Mobile Telecommunications System، أي النظام العام للاتصالات الجوالة، وهو نظام يمثل قفزة نوعية من حيث السعة وسرعة المعلومات والخدمات مقارنة بجيل الهاتف الخلوي الثاني.

(4) digital certificates، وهي أداة تعريف نعموية (تشفيرية) يمكن التحقق منها إلكترونيا، وتستخدم عادة في عمليات الاستيقان وتحديد الهوية. (التحرير)

المؤلف

Mikko Hypponen

هو كبير الباحثين في F-Secure، وهي شركة للأمن الحاسوبي في هلسنكي تقدم الاستشارات لصنَّاع الهواتف الخلوية وشركات تشغيل الشبكات الخلوية. وقد قاد فريقه المتخصص بمكافحة الفيروسات بتحديد ومكافحة عشرات الفيروسات في الخمس عشرة سنة السابقة التي عمل خلالها في الشركة F-Secure. ومن بين تلك الفيروسات الدودة الخبيثة LoveLetter في عام 2000. وبصفته مشاركا في تأليف كتابين عن أمن الحاسوب، فقد ساعد على إجراء تحقيقات قامت بها الشركة مايكروسوفت ومكتب التحقيقات الفدرالي الأمريكي والاستخبارات الأمريكية واسكتلنديارد ببريطانيا.

مراجع للاستزادة

Mobile Phones as Computing Devices: The Viruses Are Coming! David Dagon, Tom Martin and Thad Starner in *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 3, No. 4, pages 11-15; October-December 2004.

Mobile Phones: The Next Frontier for Hackers? Neal Leavitt in *Computer*, Vol. 38, No. 4, pages 20-23, April 2005.

Mikko Hypponen and his teammates blog at **www.f-secure.com/weblog/**

Trusted Computing Group: **www.trustedcomputinggroup.org/groups/mobile**

Scientific American, November 2006



الهندسة الهدروليكية في المكسيك ما قبل التاريخ[*]

قبل ثلاثة آلاف سنة، شيد أسلاف الأزتكس في العالم الجديد المنظومات الأولى لإدارة المياه على نطاق واسع.

<Ch. كاران> ـ <A. J. نيلي>

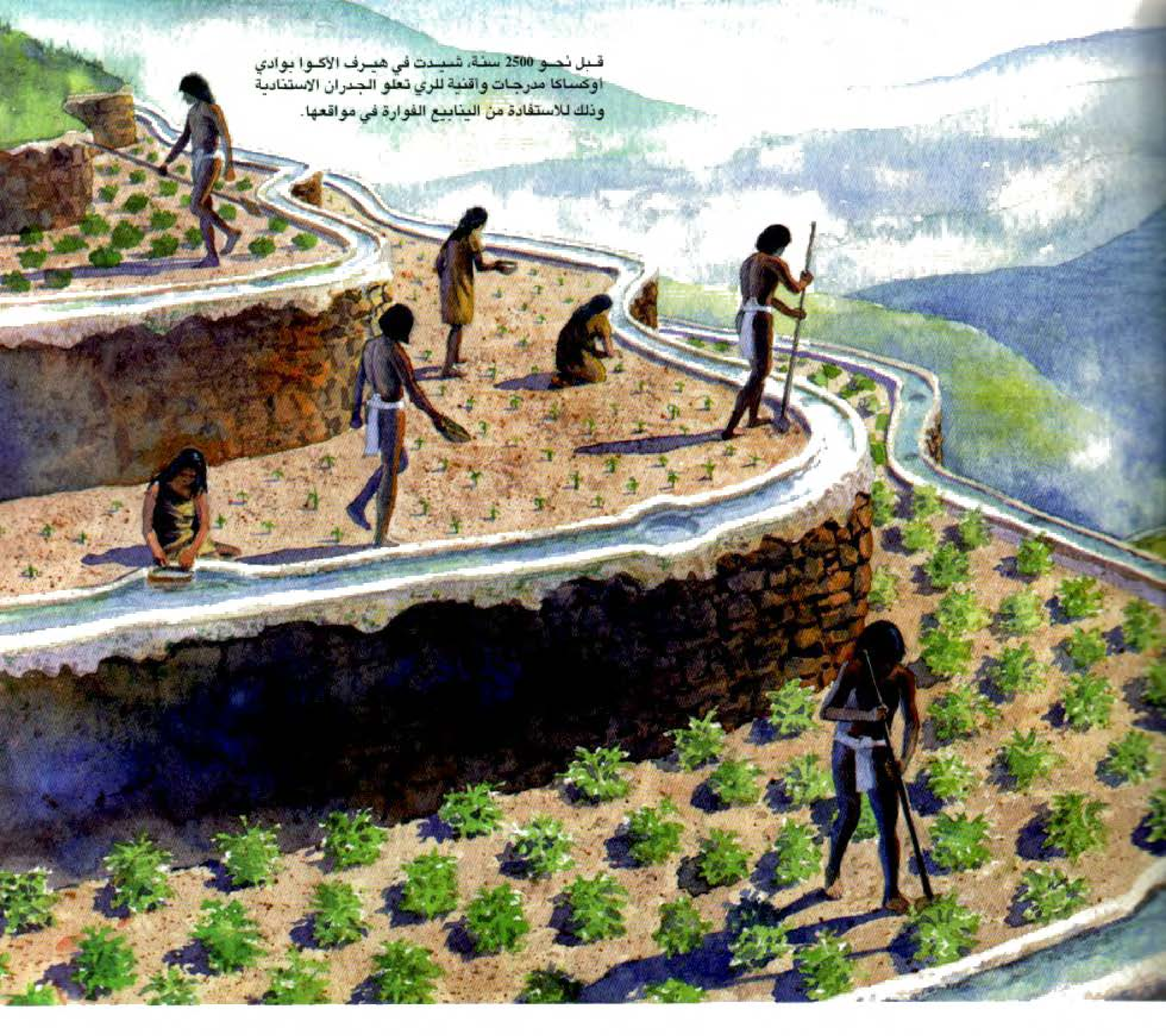
كان المزارعون في جنوب المكسيك ما قبل التاريخ يتوقون حتما إلى حدوث أعجوبة. فبفضل المناخ المداري تكاد تكون أوديتهم الخصبة نموذجية للزراعة على الرغم من ارتفاعاتها التي تصل إلى 2000 متر. فالأمطار الغزيرة تضمن محاصيل وافرة خلال موسم **المونسون** monsoon الذي يدوم ستة أشهر. فتحت هذه الظروف المواتية أصبحت هذه المنطقة مهد الزراعة في العالم الجديد ومكان ولادة الذرة. ومع ذلك واجه المزارعون الأوائل أحد المحددات التي تعيق الزراعة خلال نصف عام يسود خلاله المناخ الجاف. فحقولهم المحروثة يدويا يمكن أن تعطي محصولين، أو حتى ثلاثة محاصيل، فيما إذا توافرت لهم إمدادات مائية على مدار السنة، ولكن كيف يمكن أن يحصل المزارعون على المزيد من المياه؟

لم يكن الحل أعجوبة، بل عبقرية بشرية مدهشة تتمثل في مشروعات هندسية على مقياس كبير تم تصميمها لتخزين المياه ونقلها. فابتداء من أعمال متواضعة تركت آثارا ضئيلة توسعت المنشآت إلى مقاييس عملاقة. فعلى سبيل المثال، تم بناء سد بورون على وادي «تيهواكان» بدءا من نحو 750 قبل الميلاد بطول 400 متر وعرض 100 متر وارتفاع نحو 25 مترا. وقد قام العمال بنقل 2.64 مليون متر مكعب من الأتربة يدويا، حيث كان يجري نقل عدة كيلوغرامات من الأتربة في كل مرة. وربما بقي هذا السد أكبر منشأة مائية تخزينية حتى القرن الثامن عشر. وعلى مقربة منه، أنشأ المهندسون القدامى آلاف الكيلومترات من الأقنية المائية، منها أقنية على سطح الأرض cannals، وبعضها الآخر عبارة عن أقنية محمولة على جسور ترتفع في الغالب فوق سطح الأرض بواسطة أعمدة.[1] وقد أقيمت هذه المنشآت قبل وصول الأوروبيين إلى المكسيك بألفي عام. لقد قاموا بتحويل المياه من الينابيع والجداول وتم استجرارها عبر خطوط تقسيم الأحواض المائية وحول الوديان السحيقة وعلى المنحدرات الشديدة الميل. وثمة مبتكرات أخرى لتجميع مياه الأمطار من الأبنية والساحات. فشعوب جنوبي المكسيك استثمرت عمليا كافة المصادر المائية المتاحة في بيئتهم.

وإن بقاء العديد من منشآت الري ومنشآت تجميع المياه فترة تراوح بين 1500 ونحو 3000 سنة هي شواهد على المستوى الرفيع لتصميم هذه المنشآت وتشييدها. فهذه المنجزات تتميز بروعتها وكونها استثنائية على كافة المقاييس؛ كما أنها متميزة بشكل خاص، نظرا إلى أنه لم يتوافر لدى البنائين أدوات معدنية ووسائل نقل تعتمد على العجلات أو الحيوانات لحمل الأثقال. وحتى أكثر المعالم قدما ممازال قائما. يمثل مستوى عاليا من الإبداع التقني ويدلل على إدارة رفيعة المستوى قادرة على صيانة

(*) HYDRAULIC ENGINEERING IN PREHISTORIC MEXICO

(1) تم التمييز بين ثلاثة أنواع من الأقنية tecoatles، aqueducts، cannals، وقد ترجمت في هذه المقالة باستخدام التعابير: الأقنية السطحية، الأقنية المحمولة، والأقنية الحجرية. **فالأقنية السطحية** cannals هي المجاري المائية المحفورة في التربة والمبطنة في الغالب، إلا أنها تبقى بمستوى سطح الأرض. أما **الأقنية المحمولة** aqueducts فهي أقنية محمولة على جسور ترتفع عن سطح الأرض بواسطة أعمدة وتتبع في الغالب مسارا مستقيما حتى في مجاري الوديان. وعلى نقيض ذلك تشكل الأقنية الحجرية مسارا يتلوى كالحية، لذا أطلق عليها في المكسيك اسم «**تيكوتل**» tecoatle، وتعني بالإسبانية «الحية الحجرية». وقد تشكلت هذه الأقنية بفعل تراكم الترسبات الكلسية (الترافرتين) من مياه الينابيع وتصلبت لتصبح أقنية حجرية مرتفعة فوق سطح الأرض. (التحرير)



قبل نحو 2500 سنة، شيدت في هيرف الآكوا بوادي أوكساكا مدرجات وأقنية للري تعلو الجدران الاستنادية وذلك للاستفادة من الينابيع الفوارة في مواقعها.

هذه البنية التحتية الضخمة. ومع أنه تم اكتشاف منظومات قبتاريخية(1) لإدارة المياه في عدة مواقع في المكسيك، فإن نظرة متأنية إلى اثنين منها - الأقنية الواسعة الامتداد في وادي تيهواكان وشبكة ري المدرجات في وادي أكساكا، وهي من الضخامة لدرجة تفوق الخيال - تلقي الضوء على العبقرية الفذة للمهندسين الهدروليكيين القدامى.

لقد بدأت التحريات المعاصرة في هذين الموقعين في عقد الستينات وبداية عقد السبعينات عندما أجريت أعمال مسح أساسية بإشراف عالمين يعتبر كل منهما أحد الرموز الأسطورية في مجال علم الآثار: «R .S. ماكنيش» («سكوتي») في وادي تيهواكان و«K .V. فلانيري» («نيلي») في وادي أكساكا. أحدنا («نيلي») كان عندها فتيا وطالبا في مرحلة الدراسات العليا متمتعا بامتياز المشاركة في كلتا الدراستين. ولم يكن موضوع إدارة المياه محورا أساسيا لأي منهما. ومع أن أهمية هذه المنظومات كانت واضحة حينذاك، فإن ثغرة طويلة الأمد تلت التقييم الأصلي الذي كان هزيلا متواضعا بحد ذاته. بيد أنه استمر شغف «نيلي» بموضوع إدارة المياه في مرحلة ما قبل التاريخ. وفي نهاية عقد الثمانينات وجه دعوة للجيولوجي «كاران» (المؤلف الآخر لهذه المقالة) لينضم إليه في إجراء تحليل أكثر عمقا لتلك المنشآت المائية. وقد كانت مكتشفاتنا كما سنرى لاحقا.

الأقنية العادية والأقنية المحمولة والتيكوتل(*)

لقد تبين أن شبكة أقنية جنوب المكسيك هي كبرى منظومات إدارة المياه التي شيدت في مرحلة ما قبل التاريخ في العالم الجديد. فمجموع أطوال هذه الأقنية يتجاوز 1200 كيلومتر. وقد وفّرت المياه لأراض زراعية تبلغ مساحتها 330 كيلومتر مربع - منطقة تقارب مساحتها مساحة قطاع غزة - وقد أنجز هذا العمل قبل 2500 سنة. فالقائمون على الري

(*) Canals, Aqueducts and Tecoatles

(1) في مقابل prehistoric. وقد استخدم التعبير الأطول (ما قبل التاريخ) في معظم المقالة لأنه الأكثر قبولا. (التحرير)

كونوا الأقنية بحفر **مجار** channels في التربة، وربما شيدوا **أرصفة نهرية** levees على طرفي هذه الأقنية. وكل واحدة من هذه الأقنية كانت تنقل المياه من مصدر يقع في موقع مرتفع إلى أحد الحقول الواقعة في المناطق المنخفضة. وتسلك القناة في الغالب مسارا متعرجا للمحافظة على ميل خفيف بحدود درجتين أو أقل.

لقد جرى تحويل معظم مياه الري من ينابيع كبرى، ومياه هذه الينابيع كانت غنية **بالفلزات** minerals المنحلة وبخاصة **الكالسيت** calcite، وهو أحد أشكال فحمات الكالسيوم. وأسهمت هذه الفلزات بحماية القنوات بتشكيلها غلافا مانعا للتسرب، إلا أنها شكلت على المدى البعيد خطرا على بقائها: فأثناء جريان مياه الينابيع في قناة ما يزداد تركيز المواد الكيميائية بفعل التبخر وتبدلات الضغط والحرارة، فتتبلور طبقة رقيقة من الفلزات على السطح الداخلي للقناة. فالفلزات التي تترسب من لتر واحد من المياه ضئيلة للغاية، بيد أن التدفق عبر القناة الرئيسية قد يتجاوز نصف مليون ليتر يوميا. لقد توضعت طبقة فوق طبقة وتصلبت لتشكل غشاء صخريا يعرف باسم التراڤرتين الكلسي[1] يشبه الصواعد والنوازل في الكهوف. تتراكم هذه الطبقات بمعدل وسطي يبلغ سنتيمترا واحدا في السنة أو مترا واحدا خلال القرن.

كانت التوضعات واسعة الامتداد لدرجة أن العديد من الأقنية أشرفت على الامتلاء في نهاية المطاف. بيد أنه استمر الجريان نظرا لترسب التراڤرتين في قاع القناة وكذلك أثناء فيضان مياهها، مما كان يؤدي إلى ارتفاع جدران القناة لتشكل حواجز تعمل بشكل عام على إبقاء المياه داخل القناة، حتى فوق سطح الأرض. واستمر الفيض من الأقنية بين الفينة والفينة فتوضعت طبقات من الفلزات بعيدا عن القناة الأصلية. وبهذه الطريقة فإن ما كان من قبل مجرى صغيرا في التربة، صار مرتفعا **متطاولا** ridge وصل ارتفاعه إلى نحو خمسة أمتار وعرضه إلى 30 مترا في قاعدته، ويعلوه قناة تمتد على خط الذرا [*انظر الشكل في الصفحة* 28]. وربما ساعدت الصيانة الدورية على أن تحافظ القناة على مقطع بشكل U ويزداد ارتفاعها باستمرار وتبقى صالحة للاستعمال.

إن الطبيعة الصخرية والأشكال المتطاولة والمتعرجة لهذه الأقنية **الأحفورية** fossilized كان الدافع ليطلق عليها اسم **تيكوتل** tecoatl وتعني «الحية الحجرية» في لغة الأزتكس. فانتشار التيكوتل لمسافات بعيدة تقاس بالعديد من الكيلومترات حولت طبيعة سطح الأرض بشكل جذري مُشكلةً حواجز كان لها تأثير في مسارات الطرق وتصاميم المدن والبلدات مما قبل التاريخ والاستعمار الاسباني حتى يومنا هذا.

ولما كانت الظروف الطبيعية لا تسمح بإنشاء الأقنية (فوق المنحدرات الشديدة على سبيل المثال)، ابتكر القائمون على الري المجاري المائية التي ترتفع فوق سطح الأرض - الأقنية المحمولة - والمبنية بعناية فائقة بأتربة مرصوصة وأحجار لا يربطها ملاط. وتعتبر هذه القنوات منشآت بسيطة إذا ما قورنت بأضخم الأقنية المحمولة الرومانية التي تعود إلى المرحلة التاريخية نفسها تقريبا.

ويعدُّ خانق[2] ريو كسيكويلا مثالا جديرا بالاهتمام. ويتميز هذا الموقع بوجود قناتين محمولتين وعلى مناسيب مختلفة فوق النهر ويبلغ عرض كل من هاتين القناتين مترا واحدا ولهما درجة انحدار ثابتة تقريبا. على الرغم من عدم انتظام جدران الخانق. وتدل كسر فخارية معروفة من حيث النوع والقدم على عمر المنشآت. وتراوح ارتفاع القناة



شيدت منظومات إدارة المياه في فترة ما قبل التاريخ في مواقع مختلفة منتشرة في جنوب المكسيك. ومن أقدم الأمثلة المعروفة بئر عمرها 10 000 سنة في سان ماركوس نيكوكستلا. وقد استمر تشييد المنظومات الأحدث نسبيا حتى فترة وصول الأوروبيين.

نظرة إجمالية/ الري القديم[*]

- في فترة ما قبل التاريخ، كان المزارعون في المكسيك يواجهون شحًا في المياه خلال ستة أشهر من السنة.
- للتغلب على العوائق التي تعترض مزاولة الزراعة في كامل السنة، قاموا بتطوير أساليب مبتكرة لنقل المياه إلى محاصيلهم. اشتملت ابتكاراتهم على السدود والآبار والأقنية السطحية والمحمولة aquiducts والحقول في المدرجات.
- توضح اثنتان من هذه المنظومات براعة هؤلاء المهندسين الأوائل: شبكة من الأقنية في وادي تيهواكان وحدائق المدرجات في وادي أوكساكا التي تروى من قنوات تعلو الجدران الإسنادية.

(*) Overview/ Ancient Irrigation
(1) calcareous travertine
(2) canyon



هيرف الأكوا اليوم. ما زالت معالم الحقول القديمة واضحة في المدرجات. هنا بجوار بركة أحد الينابيع الفوارة.

المحمولة السفلى ـ البالغ طولها كيلومترا واحدا والتي شيدت نحو 400 بعد الميلاد ـ ما بين 4 و 12 مترا فوق النهر. وهذا الجزء كان عرضة لأضرار بفعل الفياضانات والانزلاقات الأرضية وتم التخلي عنه عام 700. أما القناة المحمولة العليا، التي أنشئت في الوقت نفسه تقريبا والتي بلغ طولها ستة كيلومترات وتراوح ارتفاعها ما بين 20 و 22م فوق مستوى النهر، فقد بقيت قيد الاستعمال حتى عام 1540 على أقل تقدير. لقد حملت هذه الأقنية مياها عذبة نسبيا ولم تتحول إلى أقنية أحفورية.

تُعد الأقنية التي تحجرت سجلا تاريخيا حول استخداماتها وبيئاتها. وثمة محتبسات في طبقات الترافرتين تشمل بقايا وافرة من الطحالب المائية[1] والمشطورات diatoms والنباتات المستنقعية الأكبر حجما والتي نمت داخل وعلى طول القناة. ونظرا لحساسية هذه الكائنات لتغيرات الشروط البيئية، ثمة إمكانية لتحديد التركيب الكيميائي السابق للمياه وحمولتها من المواد المغذية ومعدلات التدفق ودرجة صفائها. وتشمل البقايا المحفوظة داخل الترافرتين غبار الطلع للنباتات التي كانت تزرع في الحقول المجاورة، حيث تُظهر أن الأقنية كانت تروي محاصيل الذرة والفلفل peppers والطماطم (البندورة). وثمة احتمال كبير بأن **سالف العروس** amaranth، الذي يُجنى حاليا وربما في قديم الزمن، كان يزرع أو ينمو على ضفاف الأقنية كنبات بري. وقد ازدهرت **نباتات التيفا** cattails على طول الأقنية ـ ربما من دون زراعتها ـ تماما كما يحدث في الوقت الحاضر. وثمة احتمال بأن المزارعين قاموا بتجميع هذه النباتات المفيدة من أجل الغذاء، والألياف **وقصبات الرماح** arrow shafts.

ونظرا لأن الأقنية كونت بيئة مائية اصطناعية، خلافا للبيئة الجافة المحيطة بها، فإننا على يقين بأن النباتات المائية التي تُشكل معظم البقايا العضوية في الترافرتين، كانت معاصرة لفترة استخدام القناة. وقد منحتنا المادة العضوية المحفوظة فرصة فريدة إذ يمكننا استخدام الصفة المميزة للكربون المشع المرتبطة بتحديد الأعمار والتي تعتمد على الخصائص الكيميائية للكربون في الكائنات الحية، لقياس عمر الأقنية مباشرة. فعادة ما يتعين استنتاج عمر المنظومات المائية القديمة من **مواقع السكنى** habitation والأشياء المصنوعة في جوارها، علما بأن هذه الطريقة يكتنفها الغموض، لأنه ليس من الواضح دائما أن المؤشرات الزمنية كانت معاصرة لتلك المنظومات. فتحاليل الكربون المشع كانت الحل لهذه المشكلة، إذ بينت أن بعض الأقنية شيدت في سنة 800 قبل الميلاد وأن العمل في الأقنية استمر حتى أوائل القرن 15.

ريّ المدرجات[*]

على مسافة نحو 170 كيلومتر جنوب شرقي وادي تيهواكان، ثمة موقع أثري متميز في الجبال بالنهاية الجنوبية لوادي أواكساكا، يُظهر قدرة التكيف والابداع للمهندسين الهدروليكيين المكسيكيين في مرحلة ما قبل التاريخ. لقد ساعد الري في هيرف الاكوا على استمرار الزراعة على مدى 18 قرنا على أقل تقدير، وذلك اعتبارا من 500 قبل الميلاد وحتى عام 1350. وقد توافرت مياه الري من عدد من الينابيع الكبيرة الدائمة الجريان وذات خصائص غير عادية. وتعني هيرف الأكوا بالأسبانية «الماء يغلي». والحق أن الماء ليس حارا ولكنه **مُكرْبن** carbonated طبيعيا، تماما كالمياه الجوفية الشهيرة المعبأة بالزجاجات في جنوب فرنسا. تحتوي المياه المُكربنة طبيعيا على كميات كبيرة من غاز ثنائي أكسيد الكربون المنحلّ فيها. ومصدر هذا الغاز **الماكما** magma أو من تحول الحجر الكلسي

(*) Terrace irrigation
(1) aquatic algae

تشكّل التيكوتل(*)

الحية الحجرية، أو التيكوتل، في الصورة هي واحدة من الآلاف التي تجتاز وادي تيهواكان على نحو متقاطع. وكان أصل كل منها قناة حفرت في التربة (انظر *الرسم البياني*). وأثناء جريان مياه الينابيع في القناة توضعت ترسبات فلزية من هذه المياه مشكلة في نهاية المطاف قشرة ذات سماكة كبيرة لدرجة أن منسوب المياه في القناة ارتفع فوق سطح الأرض. وعلى الرغم من هذا التبدل في المناسيب، فإن التيكوتل استمرت في وظيفتها مرتفعة نحو خمسة أمتار وازداد عرضها فوصل عند القاعدة إلى 30 مترًا. وشكلت التيكوتل عرفا متعرجا وصل طوله إلى 15 كيلومترا.

مقطع صيانة مغطى بترافرتين جديد

مياه الري فوق سطح الأرض

كتف levee دفن بالترافرتين الفائض

عرف ridge تشكل من توضعات الترافرتين

ترافرتين سريع التراكم

تصبح القناة في نهاية المطاف تيكوتل

في بعض النقاط تتجاوز المياه أكتاف القناة

تراكم في الأقنية بعد عشر سنوات نحو 10 سنتيمتر من الترافرتين

في البداية تتكون القناة من التربة فقط

كتف تشكل من تربة محفورة

مياه الري

قناة كشف عنها

مقطع لتيكوتل

5 أمتار

مستوى سطح الأرض

قناة أصلية كُشف عنها

30 مترا

(*) The Formation of a Tecoatl

أو من غيرها من السيرورات المعقدة. فالمياه العميقة تحت سطح الأرض هي مياه **حبيسة** confined تحت ضغوط كبيرة تحافظ على انحلال الغاز، كما هي الحال في إناء يحافظ على انضغاط مشروبات مكربنة.

توافر التشققات في صخور هيرف الأكوا مسارات تسمح للمياه الجوفية بالصعود إلى سطح الأرض بسرعة كبيرة. وإن الانخفاض الفجائي للضغط الذي يحصل إثر انبجاس المياه يشبه إزالة غطاء زجاجة صودا مهتزة: يطلق فوران المياه تلقائيا فقاعات وتتولد نوافير صغيرة الحجم، مما يجعل مياه النبع تزبد وكأنها في حالة غليان. ويكسب غاز ثنائي أكسيد الكربون الماء حموضة لدرجة تمكنه من إذابة الصخور الصلدة الواقعة تحت التربة والمؤلفة بمعظمها من الحجر الكلسي. وكما هي الحال بالنسبة إلى الترافرتين في وادي تواكان، فإن الحجر الكلسي مكون من الكالسيت. ومن ثم تحتوي مياه الينابيع في هيرف الأكوا على تراكيز عالية جدا من الكلسيوم والبيكربونات المنحلة. وهكذا فقد حافظت طبقات الترافرتين المترسبة من المياه في هيرف الأكوا على السجلات الأثرية تماما كما هي الحال في وادي تيهواكان.

إن المكان الذي يحدث فيه غليان المياه الباردة لا بد أنه أثار فضولية السكان الأوائل في المنطقة، حيث اكتشفوا أن بإمكانهم استخدام هذه المياه للري في الأشهر التي لا تجلب خلالها رياح المونسون الأمطار. ونظرا لافتقار المنحدرات الشديدة الواقعة تحت الينابيع مباشرة إلى غطاء من التربة فقد نقل المزارعون يدويا خمسة ملايين متر مكعب من الأتربة إلى هذه المواقع، لأغراض التنمية الزراعية في حقول تقع فوق المدرجات تقارب مساحتها كيلومترين مربعين. ويبدو أنهم اختاروا التربة بعناية فائقة وربما تم غربلتها للحصول على بنية مسامية متجانسة، الأمر الذي أدى إلى تحسين عملية الصرف. وفي بدء أعمال إنشاء المصاطب تم بناء جدران استنادية برصف **الحجارة بالطريقة الجافة** dry-lying stone. وقد وضعت الجدران على مسافات تم تحديد مواقعها بعناية على المنحدرات الجرداء. وتم وضع التربة خلف كل من هذه الجدران، من أجل إنشاء مصطبة ضيقة في أعلى الجدار. ومن ثم أنشأ المزارعون **قناة حائطية** wall canal صغيرة في أعلى الجدار، وقد بلغ مجموع أطوال **الأقنية التي تم بناؤها وصيانتها 6.5 كيلومتر** [*انظر الشكل في الصفحتين 24 و 25*].

تميزت الأقنية الحائطية بميل خفيف، مما يسمح بتحويل المياه إليها من أقنية أكبر حجما بكثير تنقل المياه من الينابيع مباشرة وتتبع انحدار الأرض. وثمة قنوات إضافية صغيرة الحجم كانت تصل ما بين النهايات السفلى للأقنية الحائطية وتعمل على إيصال المياه إلى المدرجات السفلى أو تعيد المياه إلى **قنوات الإمداد** supply canals. وأثناء جريان المياه في قناة حائطية كان يتم تجميعها في قاع القناة في أحواض دائرية ضحلة أو **پوسيتوس** pocitos وقد أنشئت هذه الأحواض كل بضعة أمتار على طول القناة. وباستخدام إناء صغير كان يحصل المزارع على المياه من البوسيتوس يدويا لسقاية النباتات التي كانت في طور النمو في المصاطب المجاورة. يعرف هذا النوع من السقاية بالإسبانية باسم **رييكوس أبرازو** riegos a brazo، ومازالت هذه السقاية متبعة في هذه المنطقة.

إن نظرة فاحصة لهذه المدرجات تظهر روعة تصميمها. فالمسافات المنتظمة بين الجدران والمدرجات الضيقة ساعدت على تخفيض كميات التربة اللازمة لإنشائها. كما أن وجود الأقنية الحائطية والپوسيتوس بالجوار سهّل عملية السقاية. وحتى في أشد السفوح انحدارا، حيث يصل ارتفاع الجدران إلى 2.4 متر، تمت المحافظة على عرض ثابت نسبيا للمدرجات. فعرض معظمهما هو من 2.4 إلى 3 أمتار: أي ما يعادل امتداد ذراعين لأشخاص تراوح أطوالهم ما بين 1.4 و 1.7 متر. وهذه القيم، كما يستدل من بقايا الهياكل، تعادل أطوال المزارعين القدامى. وثمة حفر صغيرة تُسمى **حفر البكاء** weep holes في قاعدة كل من جدران المدرجات أسهمت في تحسين عملية الصرف وحفظ رطوبة التربة. وقد كانت السقاية اليدوية والصرف المناسب من الأهمية بمكان نظرا لارتفاع كمية الأملاح في



ثلاث نيكوتيلات متوازية (*في اليسار*): النيكوتيلات الأصغر هي فروع تقود إلى حقول قديمة مجاورة. وفي ما وراء الجدار الأبيض بالوسط، يمكن تتبع تيكوتل رئيسية لم يُكشف عنها باتجاه ما هو حاليا مركز مدينة تيهواكان، حيث خرّبت الطرق الحديثة (*في الأسفل*) أجزاء من القناة.







سد بورُون (في أسفل ويمين الصورة اليمنى) قرب بيُبلا في المكسيك. ويعتقد انه أكبر منشأة تخزينية للمياه شيدت في الأمريكتين قبل وصول الأوروبيين. وقد بوشر في بنائه عام 750 قبل الميلاد واستمر البناء على مراحل حتى نحو عام 1150. عندما وصل السد إلى ارتفاع نحو 25 مترا وطول 400 متر. وقد أصاب الحت الوجه الجنوبي (الصورة اليسرى) بارتفاع يعادل طول رجل بطول يبلغ ست أقدام

المياه. فإذا كانت كمية المياه أكثر مما ينبغي أو تعذر صرفها بالشكل المناسب، تتراكم الأملاح في التربة بسرعة، مما يفقدها مساميتها وتصبح قاسية لدرجة يصعب قلبها يدويا، كما لا تسمح بنمو الجذور.

وكان يجري باستمرار تبديل لمسارات المياه في كامل شبكة الأقنية لإيصال المياه إلى القنوات الحائطية عند اللزوم وفي الوقت المحدد؛ ومن ثم لم يجر تمرير كميات كافية من المياه في أي من هذه الأقنية لتصبح «تيكوتل» كبيرة. وبالمقابل يكسو الأقنية غشاء رقيق من الترافرتين يحافظ على العديد من التفاصيل الإنشائية. وما يثير الاهتمام هو غياب البوابات أو الفتحات التي تسمح بتحويل المياه من القنوات إلى المدرجات بكميات كبيرة. إن مثل هذا النظام في الريّ المعروف باسم **نظام الغمر** flooding كان يمكن أن يؤدي إلى إكساء أو إشباع المصاطب برمتها بقشرة من الترافرتين، و يحتمل أن يحدث ذلك إثر عدد محدود من السقايات. بيد أن المزارعين عملوا على تخفيض نسبة تراكم الأملاح في التربة باعتمادهم طريقة عالية الكفاءة مثل الري اليدوي. أسهمت أيضا بتخفيض كميات المياه اللازمة لنمو النباتات في المدرجات. إلى الحد الأدنى، ما أدى بدوره إلى زيادة المساحات المروية.

لقد اقتصرت السقاية أساسا على الفصل الجاف وخلال الجزء الآخر من السنة وساعدت مياه الأمطار على غسل الأملاح المتراكمة في التربة المسامية وتعززت هذه العملية بتحلل المواد العضوية داخل تربة المدرجات. وقد احتوت المواد العضوية، إضافة إلى بقايا المحاصيل غير المحصودة، على المياه العادمة وغيرها من النفايات المنزلية، التي كانت تُخلط مع التربة بشكل روتيني لتجديد خصوبتها.

إضافة إلى ذلك وجدنا أدلة حول التعديلات التي أدخلت على التربة استنادا إلى الحطام المنزلي. قطع من الفخار بأعمار مختلفة تتوافر في تربة المدرجات من الأسفل إلى الأعلى وفق تسلسل زمني. ويمكن تحديد عمر الأواني الخزفية مباشرة أحيانا باستخدام تقانات الكربون المشع. كما يمكن تحديد الأعمار بشكل غير مباشر من خلال تصنيف الأواني استنادا إلى شكلها وتركيبها ونمط ألوانها ويتم ذلك عندما نجد في الموقع أنواع معينة حددت أعمارها. وإضافة إلى توفير سجل حول ممارسات طرح النفايات، أعطت الفخاريات في موقع هيرف الأكوا فوائد أثرية غير مقصودة، حيث بينت أية أنواع من الأواني كانت قيد الاستعمال اليومي؛ ومن ثم كانت الأكثر عرضة للكسر. وبفضل ذلك تعلمنا أن السكان الذين كانوا يعملون في الحقول، كانوا يطرحون نفايات تحتوي على أوان خزفية يومية الاستعمال مع أدوات للطعام. وقد عُثر على الأواني المتميزة فقط داخل معبد صغير في هذا الموقع.

قصة بطولة تقانية(*)

إن ما يبدو نشوءا مفاجئا لتقانة ري متطورة على نطاق واسع، يبدو لغزا لأول وهلة. بيد أن الغياب الظاهري لأعمال سابقة أقل شأنا في هذا المجال قد يكون على الأرجح ناتجا عن ثغرات في السجل الأثري. فاكتشافنا في عام 1993 ما قد يكون أقدم الآبار المائية في العالم الجديد يبين أن إدارة المياه قد تكون لها بداية، وإن كانت بدائية، أكثر قدما مما كان يعتقد من قبل. فالبئر تم حفرها قبل نحو 10 000 سنة بعمق خمسة أمتار وقطر يبلغ عشرة أمتار على مستوى أرض دُفنت فيما بعد. وربما بقيت هذه البئر قيد الاستعمال مدة 2000 سنة. وثمة احتمال أن تكون هذه البئر، التي تحتل موقعها حاليا قرية سان ماركوس نيكوكستلا في وادي تيهواكان، أكثر قدما من الزراعة في العالم الجديد. ومع أنه من المحتمل كثيرا ألا تكون تلك البئر قد استخدمت للزراعة، فإنها تقدم

(*) A Technological Saga

دليلا على أن إدارة المياه في هذه المنطقة بدأت، في الحقيقة، منذ أمد بعيد.

لم نعثر على أمثلة لمنشآت هدروليكية في القرون الممتدة بين فترة حفر تلك البئر وفترة ظهور الأقنية الأولى قبل نحو 3000 سنة. ولكن من المحتمل أنه تم حفر آبار صغيرة وأنشئت **هدارات** wiers مؤقتة لتحويل المياه من **الجداول** streams وغيرها من الوسائل البسيطة لتوفير المياه. خلال هذه الفترة، فالممارسات الزراعية الأولى ربما تطلبت نقل المياه لمسافة محددة أو الري على نطاق صغير باستخدام أقنية اندثرت أو لم يتم اكتشافها بعد.

بيد أنه ما زال يُطرح السؤال حول كيف تمكن مهندسو الريّ الأوائل من تصميم مسارات لأقنية تمتد عدة كيلومترات في أراض وعرة مع الحفاظ على ميل مستمر باتجاه انحدار الأرض لا يتجاوز درجتين. ففي يومنا هذا يستحيل بناء منشآت مماثلة من دون استخدام أدوات مساحية متطورة. فقدامى المصريين استخدموا **المسواة** level و**الشواخص** rods المُعايرة، لكي يراقبوا من مسافات بعيدة. ومع أن مثل هذه الأدوات البسيطة والفعالة، كانت متوافرة لدى المهندسين في المكسيك، فإننا لا نملك دليلا مباشرا على هذه التفاصيل.

لكن لدينا فعلا إجابة جزئية حول كيفية تخطيط منظومات الأقنية. ففي مكان بعيد في وادي تيهواكان ثمة خطٌ من جلاميد صغيرة يقود بعيدا عن منعطف حاد في تيكوتل. يمتد هذا المسار باتجاه منحدر قصير لمر يقع في أحد **المرتفعات المتطاولة** ridge، ثم يستمر صاعدا على الطرف الآخر نحو نقطة أعلى بقليل تقع فوق واد صغير خال من القنوات. فالمسار المحدد بواسطة الجلاميد قد يمثل تصميما معماريا لبناء قناة مستقبلية. وإيصال المياه إلى الجانب الآخر يستلزم تمديد مسار القناة القائمة نحو الأعلى بحيث يرتفع بمقدار متر واحد قبل إنشاء الفرع الجديد. فإذا أخذ البناؤون بعين الاعتبار ظاهرة تراكم الترافرتين العادية، فإن هذا الهدف يمكن بلوغه في غضون قرن، إذ يمكن أن يقوم أحفاد المزارعين خلاله بإضافة حقل ري آخر إلى هذه المنظومة.

وثمة سؤال آخر من بين عدة أسئلة تسحر علماء الآثار يتمثل فيما إذا كان تصميم وإدارة هذه المشروعات يتم من قبل **المستفيدين** users أو من قبل سلطة مركزية. وقد طرح المؤرخ المعروف «K. A.» ويتفوغل» فرضية مفادها أن استثمار وتوزيع الموارد المائية على نطاق واسع هي خطوات أساسية باتجاه نشوء الحضارات في كافة أنحاء العالم. واستنادا إلى هذا المبدأ تمكنت المجتمعات الهدروليكية دون غيرها من تحقيق منجزات تتمثل بثقافة متطورة كالزراعة الدائمة والتنوع الاقتصادي وحفظ السجلات والأجهزة الإدارية الهرمية. وقد أصبح المجتمع الهدروليكي مجتمعا متحضرا، لأن المصدر المائي الموثوق ساعد على توفير الحافز والإمكانات اللازمة لذلك. ومع ذلك فإن نقيض ذلك يبدو صحيحا: إن إقامة وصيانة بنية تحتية لإدارة المياه على نطاق واسع قد تتطلب عناية مركزة لدولة على مستوى رفيع من التنظيم. وهناك باحثون آخرون ألقوا ظلالا من الشك حول كلا الاقتراحين مشيرين إلى أن كيانات اجتماعية-سياسية صغيرة مفككة تنظيميا، يمكن أن تقوم ببناء وتشغيل منظومات مائية على مقياس متوسط على الأقل، ربما بالتعاون مع منظمات مجاورة مماثلة لكن من دون سلطة مركزية.

وثمة أدلة لكل من هذه التفسيرات. فعلى سبيل المثال، يُدار الري حاليا في وادي تيهواكان من قبل جمعيات للمياه غير حكومية تنسب إلى السكان الأصليين لهذا الوادي. وحتى يومنا هذا غالبا ما يجري توارث الحقوق المائية. وهذه ممارسة يمكن إرجاعها إلى ما قبل الفترة الاستعمارية حسب مخطوطات الأزتكس والوثائق الأسبانية الأولى. فكل واحد من المجتمعات الصغيرة يكون مسؤولا عن الصيانة والاستخدام المناسب للجزء الخاص به من منظومة الأقنية الأكبر حجما، بيد أن الإدارة الشمولية تتم بالتوافق ما بين مختلف المجتمعات المشاركة. وهكذا يجري تشغيل المنظومة محليا وتشاركيا.

هذا وسوف يستمر الحوار حول كيفية بناء وإدارة البنية التحتية الهدروليكية لهذه المجتمعات. ومما لا شك فيه هو أن منظومات جنوبي المكسيك تعتبر من المعجزات الهندسية وترقى إلى قمة منجزات البنائين في أي مكان في العالم خلال فترة ما قبل التاريخ. ■

المؤلفان

S. Christopher Caran - James A. Neely

*يتشاركان منذ مدة طويلة الاهتمام بمنظومات إدارة المياه قبل التاريخ في المكسيك وجنوب شرق أمريكا. «كاران» هو باحث جيولوجي في جامعة تكساس، متخصص بدراسات **الحقب الرابع** quaternary، ويشغل حاليا منصب رئيس مختبرات تحليل الحقب الرباعي في جامعته. وأما «نيلي» فيشغل منصب أستاذ فخري في قسم الأنثروبولوجيا بجامعة تكساس. وتركزت أبحاثه على التنمية الزراعية. وقد كشف «نيلي» في عقدي الستينات والسبعينات معظم منظومات إدارة المياه التي جاء ذكرها في هذه المقالة. وقد أجرى أبحاثا معمقة في هذا المجال منذ ذلك الحين، وبعضها بالاشتراك مع «كاران» وذلك اعتبارا من عام 1988*

مراجع للاستزادة

The Keepers of Water and Earth: Mexican Rural Social Organization and Irrigation. K. I. Enge and Scott Whiteford. University of Texas Press, 1989.

Irrigated Agriculture at Hierve el Agua, Oaxaca, Mexico. J. A. Neely et al. in *Debating Oaxaca Archaeology*. Edited by J. Marcus. University of Michigan, Museum of Anthropology. Anthropological Papers No. 84, 1990.

A Late Paleo-Indian/Early Archaic Water Well in Mexico: Possible Oldest Water-Management Feature in the New World. S. C. Caran et al. in *Geoarchaeology: An International Journal*, Vol. 11, No. 1, pages 1–36; January 1996.

A Contextual Study of the "Fossilized" Prehispanic Canal Systems of the Tehuacán Valley, Puebla, Mexico. J. A. Neely in *Antiquity*, Vol. 75, No. 289, pages 505–506; 2002.

Scientific American, October 2006

نمو متسارع للطاقة المتجددة[*]

توشك الخلايا الشمسية وتوربينات (عنفات) الرياح والوقود البيولوجي أن تصبح مصادر الطاقة الأهم. ومن الممكن أن تسرع هذا التحولَ سياساتٌ جديدة.

«D. M. كامن»

لا يمكن لأية خطة تهدف إلى التقليل من **انبعاثات غاز الدفيئة** greenhouse gas emissions تقليلا جوهريا أن تنجح من خلال زيادة الكفاءة في الطاقة[1] فقط؛ ذلك أنه لما كان النمو الاقتصادي يزيد الطلب على الطاقة زيادة مستمرة ـ المزيد من الفحم الحجري لتشغيل مصانع جديدة والمزيد من النفط لتزويد سيارات جديدة والمزيد من الغاز الطبيعي لتدفئة منازل جديدة ـ فإن انبعاثات الكربون ستبقى في ازدياد على الرغم من استخدام سيارات وأبنية وأدوات أكثر كفاءة طاقية. ولمواجهة التزايد الحالي المثير للخوف في الاحترار العالمي، لابد من أن تلتزم الولايات المتحدة والبلدان الأخرى التزاما أساسيا بتطوير مصادر الطاقة المتجددة التي لا تولّد الكربون أو تولّد القليل منه.

إن تقانات الطاقة المتجددة أصبحت فجأة موضع الاهتمام منذ ثلاثة عقود، وذلك ردا على حظر النفط في السبعينات. لكن الاهتمام والدعم لم يستمرا. إلا أن التحسن الهائل في أداء **الخلايا الشمسية** solar cells وتوربينات الرياح[2] والوقود البيولوجي[3] ـ الإيثانول وأنواع الوقود الأخرى المشتقة من النباتات ـ أدى في السنوات الأخيرة إلى تمهيد الطريق أمامها لانتشارها انتشارا تجاريا واسعا. وتبشر المصادر المتجددة، إضافة إلى فوائدها البيئية، بتعزيز أمن أمريكا الطاقي وذلك بوساطة تخفيض اعتماد البلاد على الوقود الأحفوري المستورد من بلدان أخرى. إضافة إلى أن أسعار النفط المرتفعة والمتقلّبة جعلت البدائل المتجددة أكثر إغراءً.

إننا في عصر أصبحت فيه فرص الطاقة المتجددة مواتية، وهذا يجعله الوقت المثالي لتقدّم الطاقة النظيفة خلال العقود القادمة. لكن هذا المسعى يتطلب استثمارا طويل الأمد للموارد العلمية والاقتصادية والسياسية. وينبغي للسياسيين والمواطنين العاديين أن يطالبوا بإصرار وأن **يتحدى بعضهم بعضا في تسريع الانتقال إلى** الطاقات المتجددة.

لتسطع الشمس[**]

تستخدم الخلايا الشمسية، المعروفة أيضا **بالفوتوفلطية (الفلطية الضوئية)** photovoltaics، المواد شبه الموصلة لتحويل ضوء الشمس إلى تيار كهربائي. ولا تقدم هذه الخلايا حاليا سوى جزء ضئيل من كهرباء العالم. إن قدرتها الإجمالية البالغة 5000 ميگاواط (MW) لا تشكل سوى 0.15 في المئة من القدرة الكهربائية العامة المتولدة من جميع المصادر. مع أن ضوء الشمس يمكن أن يوافر، من حيث المبدأ، 5000 ضعف من الطاقة التي يستهلكها العالم حاليا. وبفضل التحسينات التي طرأت على التقانة وانخفاض التكلفة وبفضل سياسات المساعدة في العديد من الولايات والبلدان، فإن الإنتاج السنوي من الطاقة الفوتوفلطية ازداد أكثر من 25 في المئة كل سنة خلال العقد الماضي وازداد بمقدار 45 في المئة عام 2005. وقد أضافت الخلايا التي صنعت في العام الماضي 1727 MW إلى مقدرة التوليد العالمية، كان منها 833 MW في اليابان و 353 MW في ألمانيا و 153 MW في الولايات المتحدة.

ويمكن صنع الخلايا الشمسية حاليا من عدد من المواد، بدءا من شرائح **السيليكون المتعدد البلورات** multicrystalline silicon

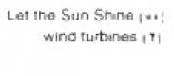
(*) THE RISE OF RENEWABLE ENERGY

(1) energy efficiency

(2) wind turbines

(3) biofules

(**) Let the Sun Shine





التقليدية التي ما زالت تهيمن على السوق وانتهاء بخلايا الأغشية السيليكونية الرقيقة والنوابض المؤلفة من البلاستيك أو أشباه الموصلات العضوية. إن إنتاج الخلايا الشمسية من الأغشية الرقيقة أرخص من انتاج خلايا السيليكون البلوري، لكنها في المقابل أقل كفاءة في تحويل الضوء إلى طاقة كهربائية. لقد وصلت كفاءة الخلايا البلورية في المختبر إلى 40 في المئة أو أكثر من ذلك، في حين تراوح كفاءة الخلايا التجارية العادية من هذا النوع بين 15 و 20 في المئة. إن الكفاءة المختبرية والتجارية لجميع أنواع الخلايا الشمسية قد ارتفعت باستمرار في السنوات الأخيرة، وهذا يشير إلى أن زيادة الجهود البحثية يمكن أن تحسّن أداء الخلايا الشمسية في السوق.

إن الخلايا الشمسية سهلة الاستخدام جدا، لأنها يمكن أن توضع في أي مكان - على سطوح المنازل وأبنية المكاتب أو جدرانها وعلى شكل **صفيفات** arrays كبيرة في الصحراء، وحتى إنه يمكن أن تُحاط في الملابس لتزويد الأجهزة الإلكترونية المحمولة بالطاقة الكهربائية. وقد انضمت ولاية كاليفورنيا إلى اليابان وألمانيا في قيادة دفع عالمي للمنشآت الشمسية، ويرمي الالتزام المسمى «مليون سطح شمسي» إلى توليد 3000 MW جديدة في الولاية بحلول عام 2018. وتبين الدراسات التي أجرتها مجموعتي البحثية - في **مختبر الطاقة المتجددة والمناسبة** Renewable and Appropriate Energy Laboratory بجامعة كاليفورنيا في بيركلي - أن الإنتاج السنوي من الخلايا الشمسية في الولايات المتحدة وحدها يمكن أن ينمو إلى 10 000 MW في غضون 20 عاما فقط إذا استمر التوجه الحالي.

وسيكون تخفيض سعر الخلايا الشمسية، الباهظة الثمن نسبيا في الوقت الحالي، أكبر تحدٍّ. إذ تبلغ التكلفة الإجمالية للكهرباء التي تنتجها الخلايا البلورية ما بين 20 و 25 سنتا لكل كيلوواط-ساعة، مقارنة بتكلفة الكهرباء التي ينتجها الفحم الحجري البالغة أربعة إلى ستة سنتات أو تلك المنتجة بوساطة حرق الغاز الطبيعي البالغة خمسة إلى سبعة سنتات أو تلك التي تنتجها محطات توليد الكهرباء العاملة بالكتلة البيولوجية البالغة ستة إلى تسعة سنتات (يصعب تحديد تكلفة توليد الكهرباء نوويا لأن الخبراء يختلفون حول التكاليف التي ينبغي أن يشملها الحساب، والمجال التقديري هو بين سنتين و12 سنتا لكل كيلوواط-ساعة). ولحسن الحظ فقد انخفضت أسعار الخلايا الشمسية انخفاضا مستمرا خلال العقد الماضي، وكان ذلك إلى حد كبير بسبب ما طرأ على عمليات التصنيع من تحسينات. ففي اليابان، حيث أُضيفت 290 MW من مقدرة توليد الكهرباء الشمسية عام 2005 وصُدِّرت كمية أكبر منها، انخفضت تكلفة الخلايا الشمسية بمعدل 8 في المئة كل عام؛ وفي كاليفورنيا، حيث رُكِّبت 50 MW من الطاقة الكهربائية الشمسية عام 2005، انخفضت التكاليف بمعدل 5 في المئة سنويا.

وما يثير الدهشة أن كينيا هي البلد الأول في العالم في عدد منظومات الطاقة الكهربائية الشمسية المركّبة لكل فرد (ولكن ليس في عدد الواطات المضافة). ففيها يباع سنويا أكثر من 30 000 لوح شمسي صغير جدا ينتج كل منها 12 إلى 30 واط. ويمكن لمنظومة لا تكلف أكثر من نحو 100 دولار للوح والأسلاك أن تُستخدم لشحن بطارية سيارة، يمكنها بعدئذ أن توافر طاقة كهربائية كافية لتشغيل

(1) thin films

يمكن لعالم طاقته نظيفة أن يعتمد على توربينات الرياح والخلايا الشمسية لتوليد كهربائه وعلى الوقود البيولوجي المستخرج من الثُّمام العصوي switchgrass ونباتات أخرى لتزويد سياراته بالطاقة.



مصباح متفلور أو تلفزيون أبيض-أسود صغير ساعات قليلة كل يوم. ويزداد عدد الكينيين الذين يختارون الطاقة الكهربائية الشمسية كل عام عوضا عن استخدامهم شبكة كهرباء البلد. وتستخدم اللوحات عادة خلايا شمسية مصنوعة من **السيليكون اللابلوري** amorphous silicon. ومع أن كفاءتها هي فقط نصف كفاءة الخلايا البلورية فإن تكلفتها أقل بكثير (بأربع مرات على الأقل)؛ فتكون القدرة على شرائها أكبر، وهي تفيد بليونين من البشر في أنحاء العالم ليست لديهم كهرباء. في الوقت الراهن، وتزداد مبيعات منظومات الكهرباء الشمسية الصغيرة ازديادا سريعا في الدول الإفريقية الأخرى أيضا. ويمكن أن يسرّع هذا الازدياد التقدمَ الذي تحرزه صناعة الخلايا الشمسية القليلة التكلفة.

وأكثر من ذلك، ليست الخلايا الشمسية هي الشكل الوحيد من الطاقة الكهربائية الشمسية الذي ينمو بسرعة. فالمنظومات الشمسية الحرارية التي تجمع ضوء الشمس لتوليد الحرارة تشهد ولادة جديدة. فقد كانت هذه المنظومات مدة طويلة تُستخدم لتوفير الماء الساخن للبيوت أو المصانع، لكنها يمكن أن تنتج الكهرباء أيضا من دون الحاجة إلى الخلايا الشمسية الباهظة الثمن. ففي أحد التصاميم، على سبيل المثال، تركّز المرايا الضوء على **مولّد استيرلنك** Stirling engine، وهو جهاز عالي الكفاءة يحوي مائعا عاملا[1] يدور بين حجرتين إحداهما حارة والأخرى باردة. يتمدد المائع عند تعرضه لضوء الشمس فيدفع مكبسا يدير توربينا.

وفي خريف عام 2005، أعلنت شركة من مدينة فونيكس تدعى Stirling Energy Systems (SES) أنها كانت تخطط لبناء منشأتي طاقة كهربائية شمسية حرارية كبيرتين في جنوب كاليفورنيا. وقد وقّعت الشركة SES اتفاقية شراء مدتها عشرون عاما مع الشركة Southern California Edison التي سوف تشتري الكهرباء من منشأة شمسية قدرتها 500 MW ستُبنى في **صحراء موهافي** Mojave Desert. وسوف تضم المنشأة التي تمتد على مساحة 4500 أكر (أكثر من 16 كيلومتر مربع)، 20 000 مرآة على شكل صحن مقعر يركّز كل منها الضوء على مولّد استيرلنك حجمه مثل حجم برميل النفط تقريبا. ويُتوقع أن تبدأ المنشأة العمل عام 2009. ويمكن توسيعها فيما بعد إلى 850 MW. ووقّعت الشركة SES أيضا عقدا مدته عشرون عاما مع شركة غاز وكهرباء سان دييغو San Diego Gas & Electricity لبناء منشأة قدرتها 300 MW تضم 12 000 صحن في إمبريال فالي. ويمكن فيما بعد تطوير هذه المنشأة لتنتج 900 MW.

لم تُعلن التفاصيل المالية المتعلقة بمشروعي كاليفورنيا على الملا، لكن الكهرباء التي تنتجها التقانات الشمسية الحرارية الحالية تكلف ما بين 5 و13 سنتا لكل كيلوواطساعة، علما أن المنظومات المزوّدة بصحون مرايا تقع عند الحد الأعلى من هذا المجال. ولما كان المشروعان يتضمنان تقانة ذات وثوق عال وإنتاج بالجملة فيتوقع أن تنخفض تكلفة التوليد لتصبح قريبة من أربعة إلى ستة سنتات لكل كيلوواط-ساعة، أي تصبح منافسة لسعر الطاقة الكهربائية المنتجة بوساطة الفحم الحجري.

5000 ميگاواط

مقدرة توليد الكهرباء من الخلايا الشمسية في العالم

37 في المئة

الكفاءة القصوى للخلايا الشمسية التجريبية

20 إلى 25 سنتا

تكلفة الكيلوواط-ساعة للكهرباء الشمسية

نظرة إجمالية(*)

- **بفضل تقدم التقانة، يمكن لمصادر الطاقة المتجددة أن تصبح مساهما كبيرا في الطاقة العالمية.**
- **لتسريع هذا الانتقال إلى الطاقات المتجددة، ينبغي للولايات المتحدة أن تزيد ما تخصصه للإنفاق على التطوير والبحث في مجال الطاقة.**
- **كذلك ينبغي للولايات المتحدة أن تفرض رسما على الكربون لتكافئ مصادر الطاقة النظيفة مقابل تلك التي تؤذي البيئة.**

نمو متسارع للطاقة من الرياح(**)

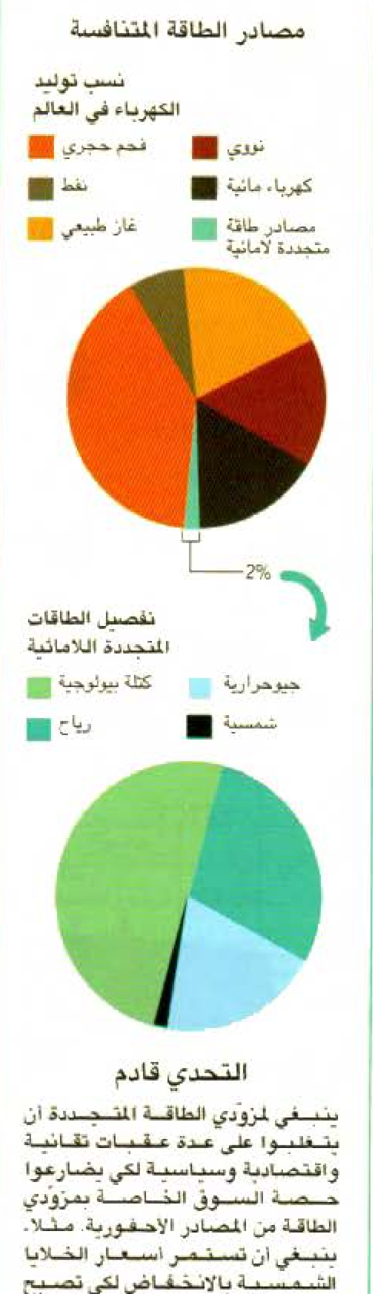
لقد نمت الطاقة الكهربائية التي تولدها الرياح بسرعة تضارع تلك التي نمت بها الصناعة الشمسية. وازدادت مقدرة التوليد العالمية لتوربينات الرياح أكثر من 25 في المئة كل عام وسطيا، خلال العقد الماضي، حتى وصلت إلى 60 000 MW في عام 2005. وكان هذا النمو بين عامي 1994 و2005 أشبه ما يكون بالانفجار في أوروبا، فقد قفزت مقدرة الطاقة الكهربائية التي تولّدها الرياح في دول الاتحاد الأوروبي من 1700 إلى 40 000 MW. وعند ألمانيا وحدها أكثر من 18 000 MW بفضل برنامج بناء مدعوم سريع. وتلبي المقاطعة الألمانية الشمالية شلزفيك-هولشتاين حاليا ربع حاجتها من الكهرباء سنويا بوساطة أكثر من 2400 توربين رياح؛ وفي أشهر معيّنة توافر الطاقة الكهربائية المولّدة بوساطة الرياح أكثر من نصف كهرباء هذه المقاطعة. يضاف إلى ذلك أن عند إسبانيا 10 000 MW من القدرة المولدة بالرياح[2]، وعند الدنمارك 3000 MW، وعند كل من بريطانيا العظمى وهولندا وإيطاليا والبرتغال أكثر من 1000 MW.

أما في الولايات المتحدة فقد تسارعت صناعة توليد الكهرباء بوساطة الرياح تسارعا مذهلا في السنوات الخمس الماضية، حتى إن مقدرة التوليد الكلية قفزت 36 في المئة

(*) Overview
(1) working fluid
(**) العنوان الأصلي: Blowing in the Wind
(2) wind power

تنمو بسرعة، لكنها لاتزال صغيرة(*)

تكتسب الخلايا الشمسية والكهرباء المولَّدة بوساطة الرياح والوقود البيولوجي بسرعة مكانة في أسواق الطاقة، لكنها تبقى هامشية مقارنة بمصادر الوقود الأحفوري، مثل الفحم الحجري والغاز الطبيعي والنفط



التحدي قادم

ينبغي لمزوِّدي الطاقة المتجددة أن يتغلبوا على عدة عقبات تقانية واقتصادية وسياسية لكي يضارعوا حصة السوق الخاصة بمزوِّدي الطاقة من المصادر الأحفورية. مثلا، ينبغي أن تستمر أسعار الخلايا الشمسية بالانخفاض لكي تصبح منافسة لمنشآت توليد الكهرباء العاملة بالفحم الحجري. وينبغي لمطوِّري مزارع الرياح أن يعالجوا المسائل المتعلقة بالبيئة وبالمعارضة المحلية. وتضم المصادر المتجددة الواعدة الأخرى مولِّدات تعمل بالبخار الصاعد من المنافذ الجيوحرارية(3) ومنشآت توليد الكهرباء من الخشب والنفايات الزراعية.

ازدهار الطاقة المتجددة

تسارع التداول التجاري لمصادر الطاقة المتجددة منذ عام 2000 تسارعا مذهلا. فقد قفز الإنتاج الطاقي السنوي العالمي للخلايا الشمسية، التي تعرف أيضا بالخلايا الفوتوفلطية، 45 في المئة عام 2005. وإن بناء مزارع رياح(1) جديدة، وبخاصة في أوروبا، قد رفع مقدرة التوليد العالمية لكهرباء الرياح(2) عشرة أضعاف خلال العقد الماضي. وارتفع إنتاج الإيثانول، أكثر أنواع الوقود البيولوجي شيوعا، إلى 36.5 بليون لتر في السنة. وكانت حصة الأسد للإيثانول المقطر من الذُّرة المزروعة في أمريكا.

إنتاج الخلايا الشمسية للطاقة الكهربائية

ميكاواط: 0، 500، 1,000، 1,500، 2,000 — 1980، 1990، 2000

مقدرة توليد طاقة الرياح

ميكاواط: 0، 10,000، 20,000، 30,000، 40,000، 50,000، 60,000 — 1980، 1990، 2000

إنتاج الإيثانول

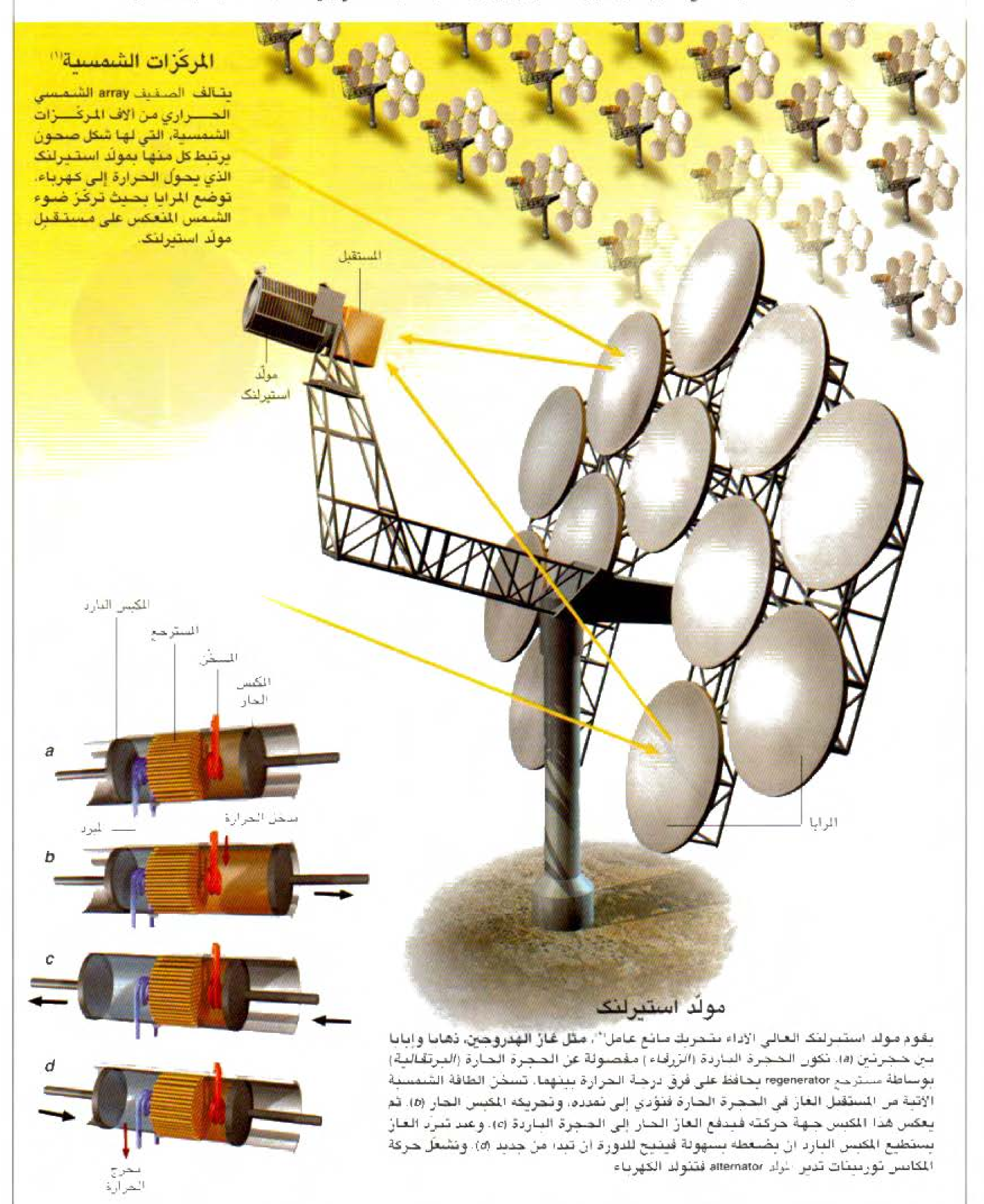
بلايين اللترات: 0، 10، 20، 30، 40 — 1980، 1990، 2000

السنة

(*) Growing Fast, But Still A Sliver
(1) wind farms
(2) wind electricity
(3) geothermal vents

كهرباء حارة من المرايا[*]

يمكن لمنظومات شمسية-حرارية، مستخدمة منذ زمن طويل لتأمين الماء الساخن للمنازل والمصانع، أن تولّد الكهرباء أيضا.
ولما كانت هذه المنظومات تنتج الكهرباء من حرارة الشمس وليس من الضوء، فإنها لا تحتاج إلى الخلايا الشمسية الباهظة الثمن



المركَزات الشمسية[1]

يتألف الصفيف array الشمسي الحـــراري من آلاف المركّـــزات الشمسية، التي لها شكل صحون يرتبط كل منها بمولّد استيرلنك الذي يحوّل الحرارة إلى كهرباء. توضع المرايا بحيث تركّز ضوء الشمس المنعكس على مستقبل مولّد استيرلنك.

مولّد استيرلنك

يقوم مولد استيرلنك العالي الأداء بتحريك مائع عامل[2]، **مثل غاز الهدروجين، ذهابا وإيابا** بين حجرتين (a). تكون الحجرة الباردة (الزرقاء) مفصولة عن الحجرة الحارة (البرتقالية) بوساطة مسترجع regenerator يحافظ على فرق درجة الحرارة بينهما. تسخّن الطاقة الشمسية الآتية من المستقبل الغاز في الحجرة الحارة فتؤدي إلى تمدده، وتحريكه المكبس الحار (b). ثم يعكس هذا المكبس جهة حركته فيدفع الغاز الحار إلى الحجرة الباردة (c). وعند تبرّد الغاز يستطيع المكبس البارد أن يضغطه بسهولة فيتيح للدورة أن تبدأ من جديد (d). ونشغّل حركة المكابس توربينات تدير مولد alternator فتتولد الكهرباء

working fluid (۲)　　solar conectrations (۱)　　Hot Power from Mirrors (*)

فوصلت إلى 9100 MW عام 2005.
ومع أن توربينات الرياح لا تنتج حاليا سوى 0.5 في المئة من كهرباء البلاد، فإن إمكانية التوسع هائلة وبخاصة في ولايات السهول الكبرى «گريت بلينز» ذات الرياح الشديدة (على سبيل المثال، عند ولاية داكوتا الشمالية موارد طاقة رياح أكبر مما عند ألمانيا، لكن لا توجد سوى 98 MW من مقدرة التوليد مركّبة هناك). ولو أن الولايات المتحدة بنت مزارع رياح كافية لاستغلال هذه الموارد استغلالا كاملا لأمكن للتوربينات أن تولّد من الكهرباء، ما مقداره 11 تريليون كيلوواط-ساعة، أي ثلاثة أضعاف مقدار الطاقة الإجمالية التي أنتجتها جميع مصادر الطاقة في الولايات المتحدة في العام الفائت. وقد طوّرت الصناعة المتعلقة بطاقة الرياح توربينات تزداد كبرا وكفاءة، ويستطيع كل منها إنتاج ما بين 4 و 6 MW. وفي العديد من المواقع تكون الكهرباء التي تولدها الرياح أرخص من أشكال الكهرباء الجديدة الأخرى وتراوح تكلفتها بين أربعة وسبعة سنتات لكل كيلوواط-ساعة.

لقد حفّز الدعم الضريبي للإنتاج نموّ مزارع الرياح الجديدة في الولايات المتحدة، حيث وافر لها إعانة متواضعة تعادل 1.9 سنت لكل كيلوواط-ساعة، وهذا يتيح لتوربينات الرياح أن تنافس المنشآت العاملة بالفحم الحجري. إلا أن الكونگرس، لسوء الحظ، هدد مرارا بإلغاء الدعم الضريبي، فكان أن أدى عدم اليقين باستمرار الدعم السنوي إلى إبطاء الاستثمار في مزارع الرياح. ويهدد الكونگرس أيضا بأن يطيح بمشروع مزرعة رياح تقع خارج سواحل ماساتشوستس تضم 130 توربينا كانت ستوافر 486 MW من مقدرة توليدية(1) تكفي لتزويد معظم مناطق كيپ كود ومارتاس ڤاينيارد ونانتوكت بالكهرباء.

وتأتي التحفظات حول الكهرباء التي تولّدها الرياح في أحد أجزائها من شركات توليد الكهرباء، التي تمانع في تقبّل التقانة الجديدة، وفي جزئها الآخر ممن يسمون أنفسهم «ليس في فنائي الخلفي» الذين يرمز لهم بالأحرف (NIMBY)(2). ومع أن قلق الأهالي من تأثير توربينات الرياح في المنظر الطبيعي فيه بعض الحق، فإنهم يجب أن يوازنوا هذا بالتكاليف الاجتماعية للبدائل: فحيث تنمو حاجات المجتمع للطاقة بلا هوادة، فإن رفض مزارع الرياح غالبا ما يعني الحاجة إلى بناء منشآت تحرق الوقود الأحفوري أو توسيع تلك المنشآت، وهذا سيكون له آثار بيئية أكبر ضررا بكثير.

60 000
ميگاواط
مقدرة توليد الكهرباء من الرياح في العالم

0.5 في المئة
الجزء من كهرباء الولايات المتحدة المنتَج بوساطة توربينات الرياح

1.9 سنت
الدعم الضريبي للكهرباء المولَّدة من الرياح لكل كيلوواط-ساعة من الكهرباء

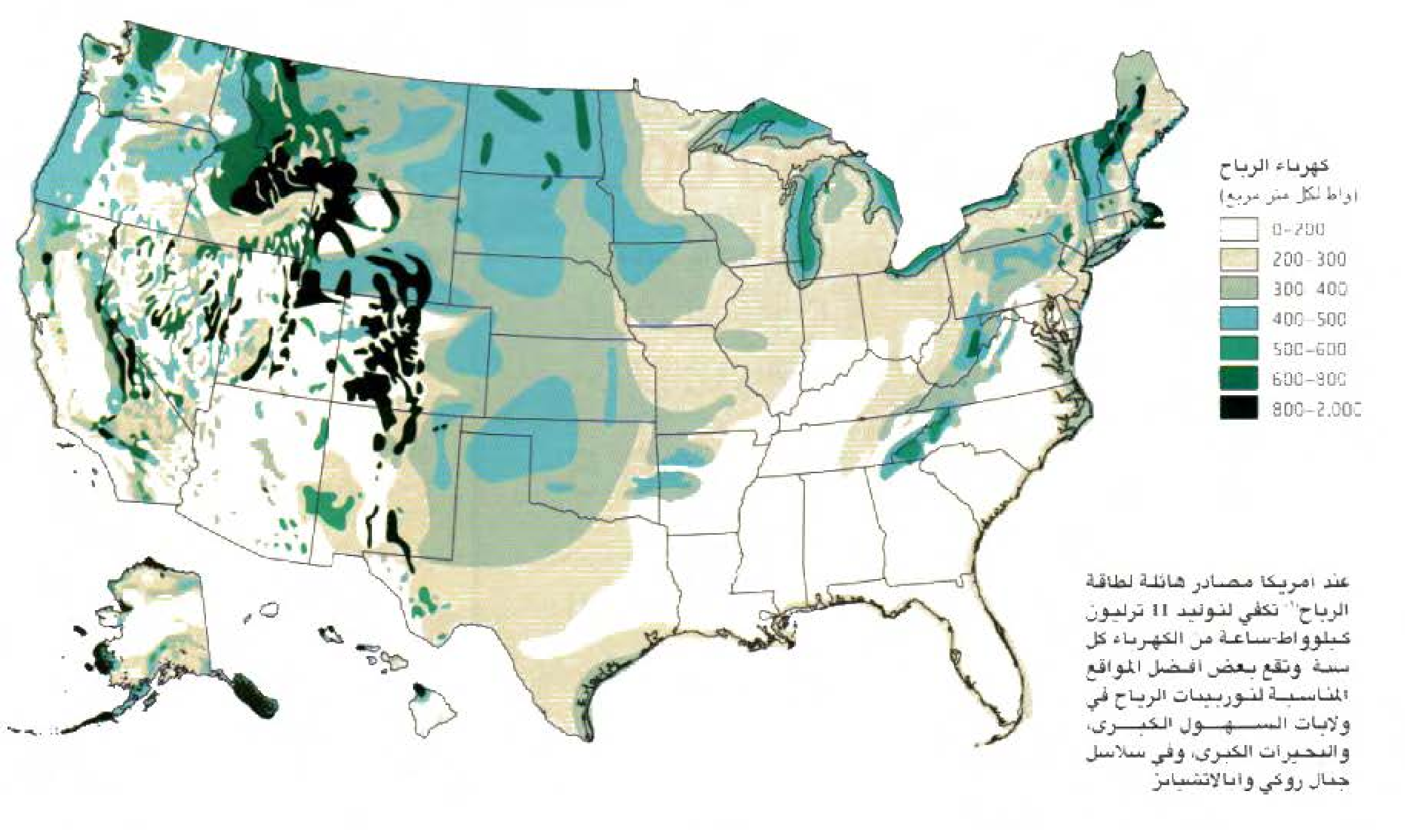
الوقود الأخضر(*)

يندفع الباحثون أيضا بسرعة لتطوير أنواع **الوقود البيولوجي** biofuels الذي يمكن أن يحل على الأقل محل جزء من النفط الذي تستهلكه حاليا محركات السيارات. والوقود البيولوجي الأكثر انتشارا من غيره بكثير في الولايات المتحدة هو الإيثانول ethanol الذي يُصنع عادة من الذرة الصفراء، ويمزج في البنزين. ويستفيد مصنعو الإيثانول من دعم ضريبي سخي بفضل المعونة السنوية البالغة بليوني دولار، باعوا أكثر من 16 بليون لتر من الإيثانول عام 2005 (تقريبا 3 في المئة حجما من مجمل وقود السيارات)، ويُتوقع أن يرتفع الإنتاج 50 في المئة بحلول عام 2007. وقد تساءل بعض السياسيين حول الحكمة من المعونة مشيرين إلى أن الدراسات تبين أن الطاقة الواجب صرفها لجني الذُّرة وتكرير الإيثانول أكبر من تلك التي يمكن أن يقدمها هذا الوقود لمحركات الاحتراق. ولكنني اكتشفت وزملائي، في تحليل حديث، أن بعضا من هذه الدراسات لم يأخذ بالحسبان بشكل سليم المحتوى الطاقي للمنتجات الثانوية التي تصنع في الوقت نفسه مع الإيثانول. وحين أخذنا جميع هذه البيانات بالحسبان وجدنا أن للإيثانول طاقة صافية موجبة تقدر بنحو 5 ميگاجول لكل لتر.

ووجدنا كذلك أن تأثير الإيثانول في انبعاثات غاز الدفيئة أكثر غموضا(3). وتشير أفضل تقديراتنا إلى أن الاستعاضة عن النفط بالإيثانول الذي أساسه الذُّرة يُنقص انبعاثات غاز الدفيئة بمقدار 18 في المئة، لكن هذا التحليل تكتنفه ارتيابات كبيرة تتعلق بممارسات زراعية معينة، وعلى الأخص الثمن البيئي للأسمدة. فإذا استخدمنا افتراضات مختلفة حول هذه الممارسات أصبحت نتائج الانتقال إلى استخدام الإيثانول تراوح بين انخفاض في الانبعاثات مقداره 36 في المئة وارتفاع فيها مقداره 29 في المئة. ومع ذلك فإن الإيثانول الذي أساسه الذُّرة يمكن أن يساعد الولايات المتحدة على خفض اعتمادها على النفط الأجنبي، ولكنه لن يفيد كثيرا في إبطاء الاحترار العالمي ما لم يصبح إنتاج الوقود البيولوجي أنظف.

لكن الحسابات تتغير تغيرا جوهريا حين يكون الإيثانول مصنوعا من مصادر سليلوزية من النباتات الخشبية مثل **الثُّمام العصوي** switchgrass (واسمه اللاتيني *Panicum Virgatum*) أو الحور. ففي حين يحرق معظم مصنعي الإيثانول الذي أساسه الذرة الوقود الأحفوري، لتوفير الحرارة

(*) Green Fuels
(1) generating capacity
(2) اختصار لهذه العبارة باللغة الإنكليزية not in my backyard
(3) Ambiguous



عند أمريكا مصادر هائلة لطاقة الرياح[1] تكفي لتوليد 11 ترليون كيلوواط-ساعة من الكهرباء كل سنة. وتقع بعض أفضل المواقع المناسبة لتوربينات الرياح في ولايات السهول الكبرى، والبحيرات الكبرى، وفي سلاسل جبال روكي وأبالاتشيانز.

اللازمة للتخمر فإن منتجي الإيثانول السليلوزي يحرقون **الخشبين** lignin - وهو الجزء الذي لا يتخمر من المادة العضوية - لتسخين السكاكر النباتية. ولا يضيف حرق الخشبين (اللجنين) أية غازات دفيئة إلى الجو، لأن امتصاص ثنائي أكسيد الكربون أثناء نمو النباتات المستخدمة لصنع الإيثانول يعادل الانبعاثات. ونتيجة لذلك يمكن أن تخفض الاستعاضة عن البنزين بالإيثانول السليلوزي انبعاثات غاز الدفيئة بما يعادل 90 في المئة أو أكثر.

أما الوقود البيولوجي الآخر الواعد فهو ما يسمى **الديزل الأخضر** green diesel. لقد أنتج الباحثون هذا الوقود بقيامهم أولا **بتغويز** gasifying الكتلة البيولوجية - أي تسخين المواد العضوية تسخينا يكفي لأن يتحرر الهدروجين وأحادي أكسيد الكربون - ثم بتحويل هذه المركّبات إلى هدروكربونات طويلة السلسلة باستخدام عملية فيشر-تروبش (وقد استخدم المهندسون الألمان خلال الحرب العالمية الثانية هذه التفاعلات الكيميائية لصنع وقود محركات تركيبي من الفحم الحجري). وسوف تكون النتيجة وقودا سائلا منافسا من الناحية الاقتصادية للاستخدام في محركات السيارات لا يضيف تقريبا أية غازات دفيئة إلى الجو. وتتقصى حاليا شركة النفط العملاقة دُتْش/شل هذه التقانة.

16.2 بليون

لتر من الإيثانول أُنتجت في الولايات المتحدة عام 2005

2.8 في المئة

حصة الإيثانول من مجمل وقود السيارات حجما

2 بليون دولار

الدعم السنوي للإيثانول الذي أساسه الذّرة

الحاجة إلى البحث والتطوير[*]

حاليا يمر كل من هذه المصادر المتجددة في منعطف خطير، فهذه هي المرحلة الحاسمة حين يمكّن الاستثمار والابتكار والتسويق هؤلاء المنجدين المترددين عموما من أن يصبحوا مساهمين رئيسيين في تزويد الطاقة محليا أو عالميا. وفي الوقت نفسه بدأت تنتشر الخطط الطموحة المصممة لفتح الأسواق أمام الطاقات المتجددة على مستوى المدن والولايات والمستوى الفدرالي في جميع أنحاء العالم. وقد تبنت الحكومات هذه الخطط لأسباب متنوعة جدا: لتشجيع تنوع الأسواق أو الأمن الطاقي ولدعم الصناعات والتوظيف ولحماية البيئة على المستويين المحلي والعالمي. ففي الولايات المتحدة هناك أكثر من 20 ولاية تبنّت معايير تضع حدا أدنى لجزء الكهرباء الذي يجب أن يقدَّم بوساطة موارد متجددة. وتخطط ألمانيا لتوليد 20 في المئة من كهربائها من الموارد المتجددة بحلول عام 2020، وتنوي السويد التخلي عن الوقود الأحفوري كليا.

حتى الرئيس «جورج دبليو بوش» ذكر في خطابه الشهير حول حالة الاتحاد في الشهر 2006/1: إن الولايات المتحدة «مدمنة على النفط». ومع أن «بوش» لم يشر إلى علاقة ذلك بالاحترار العالمي[2]، فإن جميع العلماء متفقون تقريبا على أن إدمان البشرية على الوقود الأحفوري

(*) The Need for R&D
(1) wind energy
(2) global worming

وصل السيارات الهجينة بمقابس الكهرباء(*)

سوف تكون الفوائد البيئية أكبر إذا استُخدم الوقود البيولوجي المتجدد لتشغيل **السيارات الكهربائية الهجينة** plug-in hybrid electric vehicles، واختصارا PHEV. فهذه السيارات والشاحنات، مثلها مثل معظم السيارات الهجينة التي تعمل بالبنزين والكهرباء، تجمع بين محرك الاحتراق الداخلي والمحرك الكهربائي لجعل كفاءة الوقود عظمى. لكن في السيارات PHEV بطاريات أكبر يمكن إعادة شحنها بوصلها بمقبس (مأخذ) الكهرباء. وبإمكان هذه العربات أن تسير بوساطة الكهرباء وحدها خلال رحلات قصيرة نسبيا، أما في الرحلات الطويلة فيبدأ محرك الاحتراق الداخلي بالعمل حين لا يبقى في البطاريات طاقة كافية وبإمكان هذه التوليفة أن تخفض استهلاك البنزين تخفيضا كبيرا؛ ففي حين تستهلك سيارات الركاب العادية من الوقود ما يقارب الكالون (3.8 لتر) لكل 45 كيلومتر (30 ميل) وتستهلك وسطيا السيارات الهجينة عندما لا توصل بالكهرباء (مثل سيارة الشركة تويوتا المسماة Prius) كالونًا لكل 75 كيلومتر، فإن السيارات PHEV يمكن أن تستهلك ما يعادل كالونًا لكل 120 إلى 240 كيلومتر. وينخفض استهلاك الوقود أكثر إذا عملت محركات الاحتراق في السيارات PHEV باستخدام مزائج الوقود البيولوجي، مثل الوقود EBS وهو مزيج 15 في المئة من البنزين و85 في المئة من الإيثانول.

فإذا استعيض عن اسطول سيارات الولايات المتحدة كله بين ليلة وضحاها بالسيارات PHEV لانخفض استهلاك النفط فيها 70 في المئة أو أكثر، وهذا ينفي الحاجة كليا إلى استيراد النفط. وستكون لمثل هذه الاستعاضة أيضا نتائج عميقة تتعلق بحماية مناخ الأرض الهش. إضافة إلى زوال **الضبخان** smog. ولما كان معظم الطاقة الذي تُزوَّد به السيارات يأتي من شبكة الكهرباء بدلا من أن يأتي من خزانات الوقود فسوف تتركز الآثار البيئية في آلاف قليلة من منشآت توليد الكهرباء عوضا عن مئات الملايين من السيارات. وسوف يركّز هذا الانتقالُ التحديَ المتعلق بحماية المناخ مباشرة على مهمة إنقاص انبعاثات غاز الدفيئة الناتجة من توليد الكهرباء.

وكذلك بإمكان السيارات PHEV أن تكون وسيلة لإنقاذ صناعة السيارات الأمريكية المريضة(1). فبدلا من الاستمرار في خسارة حصة السوق لصالح الشركات الأجنبية يمكن لصنّعي السيارات أن يصبحوا منافسين من جديد إذا أعادوا تجهيز مصانعهم بهدف إنتاج السيارات PHEV التي كفاءة استهلاكها للوقود أفضل من السيارات الهجينة التي لا توصل بمقابس الكهرباء، التي تبيعها حاليا الشركات اليابانية. وسوف تستفيد شركات الكهرباء أيضا من هذا التحول، لأن معظم مالكي السيارات PHEV سوف يعيدون شحن بطاريات سياراتهم أثناء الليل حين تكون الكهرباء أرخص ما تكون، فيساعدون بذلك على تخفيف حدة الطلب الأعظم والأدنى على الكهرباء. ففي كاليفورنيا، على سبيل المثال، تؤدي الاستعاضة عن 20 مليون سيارة عادية بالسيارات PHEV إلى زيادة الطلب الليلي على الكهرباء إلى مستوى الطلب النهاري نفسه تقريبا فيحسِّن بذلك كثيرا استخدام شبكة الكهرباء والعديد من منشآت توليد الكهرباء التي تبقى متوقفة أثناء الليل. وإضافة إلى ذلك فإن السيارات الكهربائية التي لا تُستخدم نهارا يمكنها أن تقدم الكهرباء إلى شبكات التوزيع المحلية في أوقات يكون فيها الضغط على الشبكة كبيرا. إن الفوائد الكامنة بالنسبة إلى صناعة الكهرباء تكمن بالضغط على شركات الكهرباء، لتجعلها راغبة في تشجيع بيع السيارات PHEV، وذلك بتقديم أسعار كهرباء مخفضة لشحن بطاريات السيارات. وأهم ما في الأمر أن السيارات PHEV ليست سيارات غير مألوفة تنتمي إلى المستقبل البعيد. فقد قدمت الشركة Daimler Chrysler نموذجا أوليا للسيارة PHEV، وهي مماثلة لسيارة الشركة Mercedes-Benz المسماة Sprinte Van واستهلاكها للبنزين أقل بمقدار 40 في المئة من النموذج العادي. وتَعد السيارات PHEV بأن تصبح أكثر كفاءة مما هي عليه حاليا، حين تُحسِّن التقانات الجديدة كثافة البطاريات الطاقية فتتيح للسيارات أن تقطع مسافات أطول باستخدامها الكهرباء فقط.

D.M.K.

يسبب اضطرابا في مناخ الأرض. لقد حان وقت الفعل(2). فالوسائل أصبحت موجودة أخيرا لتعديل إنتاج الطاقة واستهلاكها بطرق تفيد في الوقت نفسه كلا من الاقتصاد والبيئة. وخلال السنوات الخمس والعشرين الماضية تراجع التمويل الخاص والعام للبحث والتطوير في قطاع الطاقة. وبين عامي 1980 و 2005 انحدر الإنفاق في الولايات المتحدة كلها على البحث والتطوير المخصصين للطاقة من 10 إلى 2 في المئة؛ وهوى التمويل العام السنوي للبحث والتطوير في مجال الطاقة من 8 بلايين إلى 3 بلايين دولار (بدولارات عام 2002) كما انخفض البحث والتطوير الخاص من 4 بلايين إلى بليون دولار [*انظر الإطار في الصفحة 40*].

ولوضع هذه الانحدارات في منظورها العام، كانت شركات الطاقة في بداية الثمانينات تنفق على البحث والتطوير أكثر مما تنفقه شركات الأدوية، في حين لا يشكل إنفاق شركات الطاقة اليوم سوى نحو عُشر ما كان عليه. إن مجمل تمويل البحث والتطوير الخاص بقطاع الطاقة يقل عن تمويل شركة واحدة كبيرة **للتقانة البيولوجية** biotech (على سبيل المثال، بلغت مصروفات الشركة Amgen على البحث والتطوير 2.3 بليون دولار عام 2005). ومثلما تضاءل الإنفاق على البحث والتطوير تضاءل كذلك الابتكار. فمثلا تناقص تمويل البحث والتطوير للخلايا الشمسية وتوليد الكهرباء من الرياح خلال ربع القرن الماضي، وهبط تبعا لذلك عدد التطبيقات الناجحة المرخصة ببراءة اختراع في هذين المجالين. كما أن غياب الانتباه إلى البحث الطويل الأمد والتخطيط أضعف إضعافا ذا شأن مقدرة الولايات المتحدة على مواجهة التحديات المتعلقة بتغير المناخ والفوضى في التزود بالطاقة.

لقد أصبحت الدعوة إلى تعهد أساسي جديد بالبحث والتطوير في مجال الطاقة دعوة شائعة. وكانت دراسة أجرتها لجنة مستشاري الرئيس (الأمريكي) في شؤون العلم والتقانة عام 1997 وتقرير أعدته هيئة الحزبين الوطنية (الأمريكية) لسياسة الطاقة عام 2004، أوصيا كلاهما بأن تضاعف الحكومة الفدرالية إنفاقها على

(*) Plugging Hybrids
(1) ailing
(2) time for action

البحث والتطوير في مجال الطاقة. ولكن هل سيكون مثل هذا التوسع كافيا؟ على الأغلب لن يكون. لقد قامت مجموعتي البحثية بحساب مبني على تقديرات تكلفة إبقاء كمية ثنائي أكسيد الكربون في الجو ثابتة وعلى دراسات أخرى تُقدِّر نجاح برامج البحث والتطوير في مجال الطاقة وما يمكن أن ينتج من ذلك من وفر بفضل التقانات التي يمكن أن تظهر، فوجدت أن تمويلا عاما يراوح بين 15 و 30 بليون دولار كل سنة سيكون ضروريا - وهذا يفوق المستويات الحالية بخمس إلى عشر مرات.

لقد وجدتُ مع «ج. ا. نِمِت» [طالب الدكتوراه في مختبري] أن زيادة بهذا القدر ستكون مشابهة تقريبا لتلك التي حدثت خلال مبادرات فدرالية سابقة، مثل مشروع منهاتن وبرنامج أبولو. وقد أنتج كل منهما فوائد اقتصادية واضحة. إضافة إلى أنه حقق أهدافه. وبإمكان شركات الطاقة الأمريكية أن تزيد إنفاقها الخاص بالبحث والتطوير عشر مرات وستبقى مع ذلك دون الوسطي بالنسبة إلى صناعة الولايات المتحدة بمجملها. ومع أن التمويل الحكومي أساسي لدعم التقانات في مراحلها المبكرة، فإن البحث والتطوير في القطاع الخاص هو المفتاح لغربلة أفضل الأفكار ولإزالة الحواجز أمام جعلها متداولة تجاريا.

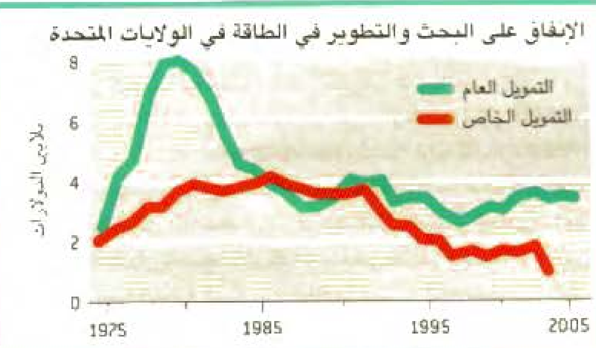
ولكن زيادة الإنفاق على البحث والتطوير ليست الطريقة الوحيدة لجعل الطاقة النظيفة أولوية وطنية. فبإمكان المربّين، في جميع المستويات من روضة الأطفال حتى الكلّية، إثارة اهتمام الجمهور وجعله يؤكد اتخاذ الإجراءات الفعالة، وذلك بأن يعلّموا كيف يؤثر استخدام الطاقة وإنتاجها في كل من البيئة الاجتماعية والبيئة الطبيعية. وبإمكان المنظَّمات اللاربحية تنظيم سلسلة من المنافسات تمنح جوائز لأول شركة أو مجموعة خاصة تتوصل إلى تحقيق هدف صعب جدير بالاهتمام في مجال الطاقة، مثل تصميم جهاز أو بناء يستطيع توليد كهربائه بنفسه، أو مثل تطوير سيارة تجارية تستطيع قطع 300 كيلومتر (200 ميل) باستهلاك كالون واحد (3.8 لتر) من الوقود. ويمكن أن تكون الجوائز مماثلة لجوائز أشوكا التي تُمنح للرواد في السياسة العامة ولجائزة Ansari X التي تُمنح لمطوري المركبات الفضائية. وكذلك ينبغي للعلميين والمقاولين أن يركِّزوا على إيجاد طرق مقبولة التكلفة ونظيفة لمواجهة حاجات الناس إلى الطاقة في العالم النامي. وعلى سبيل المثال، قمت مع زملائي مؤخرا بتبيان الفوائد البيئية الناتجة من تحسين مواقد الطبخ في إفريقيا.

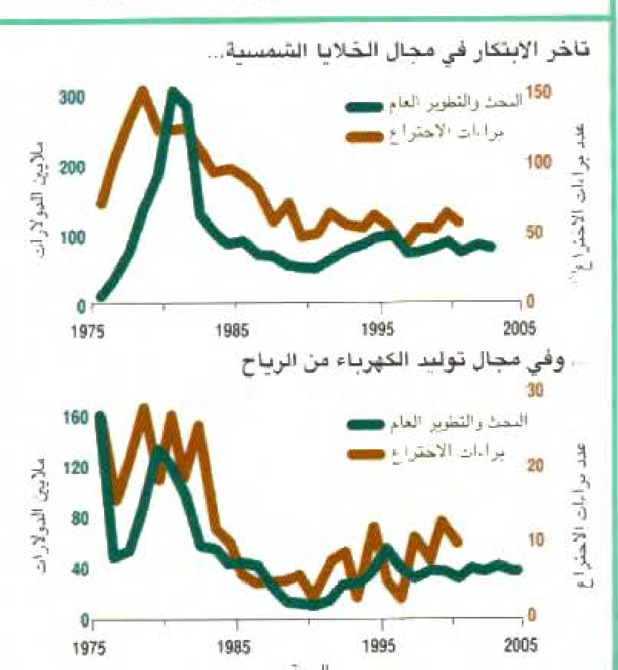
لكن ربما كانت أكثر الخطوات أهمية نحو إيجاد اقتصاد طاقي مستدام هو إنشاء خطط على أساس السوق لجعل أسعار الوقود الكربوني تمثل تكلفته الاجتماعية؛ ذلك أن استخدام الفحم الحجري والنفط والغاز الطبيعي يفرض عبئا جماعيا ضخما على المجتمع بصورة مصروفات على العناية الصحية المتعلقة بأمراض مزمنة يسببها تلوث الهواء، ونفقات عسكرية لجعل التزود بالنفط آمنا، وتخريب للبيئة بسبب أعمال التنقيب، وتأثيرات اقتصادية ضارة ناتجة من الاحترار العالمي. إن رسما يُفرض على انبعاثات الكربون يمكن أن يوافر طريقة بسيطة ومنطقية وشفافة لمكافأة مصادر الطاقة المتجددة النظيفة مقابل تلك التي تضر بالاقتصاد وبالبيئة. ويمكن أن تفي عائدات الضريبة بعض التكاليف الاجتماعية المتعلقة بانبعاثات الكربون. كما يمكن أن يُخصص جزء منها لتعويض الأُسر ذات الدخل المنخفض التي تنفق جزءا كبيرا من دخلها على الطاقة. وأكثر من ذلك يمكن دمج رسم الكربون في البرنامج المسمى **التزم و تاجر** cap-and-trade، الذي يضع حدودا على انبعاثات الكربون ولكنه يسمح أيضا لمزودي الطاقة النظيفة ببيع رخصهم إلى منافسيهم منتجي الطاقة الملوِّثة. لقد استخدمت الحكومة الفدرالية (الأمريكية) مثل هذه البرامج بنجاح كبير لكبح الملوِّثات الأخرى، وتختبر بعض الولايات الشمالية الشرقية حاليا تجارة انبعاثات غاز الدفيئة.

وأفضل ما في الأمر أن هذه الخطوات يمكن أن توافر لشركات

البحث والتطوير هو الحل[*]

انخفض الإنفاق على البحث والتطوير في قطاع الطاقة في الولايات المتحدة بصورة ثابتة منذ ذروته عام 1980. وتدل دراسة النشاط في براءات الاختراع أن الهبوط في التمويل أبطأ تطوير تقانات الطاقة المتجددة. فعلى سبيل المثال انخفض عدد المشتقات الناجحة (في الخلايا الشمسية وتوليد الكهرباء من الرياح) المرخصة ببراءات اختراع مع انحدار الإنفاق على البحث والتطوير في هذين المجالين.





مبالغ الإنفاق مقدرة بدولارات عام 2002 لأخذ التضخم بالحسبان.

(*) R&D is Key

(1) patents

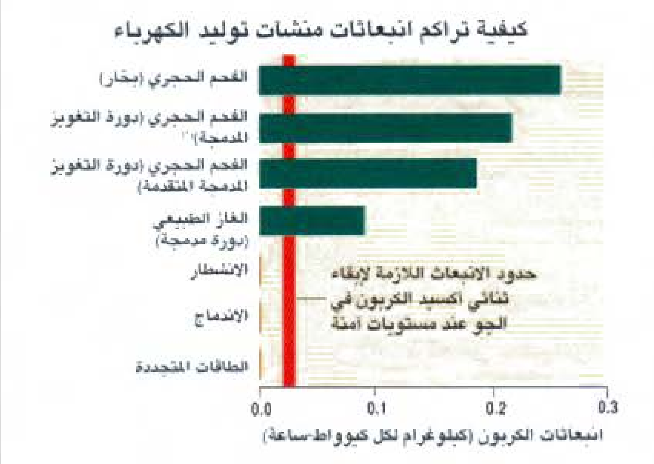
الطاقة حافزا ماليا هائلا لدفع تطوير مصادر الطاقة المتجددة وطرحها تجاريا. وفي الحقيقة تمتلك الولايات المتحدة الفرصة لأن ترعى صناعة جديدة كليا. وخطر تغير المناخ يمكن أن يكون نداء لثورة تقانة نظيفة تستطيع أن تقوّي القاعدة الصناعية في البلاد وأن تخلق آلاف الوظائف وتخفف العجز التجاري الدولي - فعوضا عن استيراد النفط الأجنبي يمكن تصدير سيارات عالية الكفاءة وتجهيزات وتوربينات رياح وخلايا شمسية. وبإمكان مثل هذا التحول أن يجعل قطاع الطاقة في البلاد شيئا كان يُعتقد أنه مستحيل: محرك نمو نابض بالحياة مستدام بيئيا. ■

أقل أنواع الوقود الأحفوري سوءا(*)

مع أن مصادر الطاقة المتجددة تقدم أفضل الطرق للخلاص نهائيا من انبعاثات غاز الدفيئة، فإن توليد الكهرباء من الغاز الطبيعي عوضا عن الفحم الحجري يمكن أن يقلل كثيرا من كمية الكربون المضافة إلى الجو. إن منشآت توليد الكهرباء العادية العاملة بالفحم الحجري تُصدر 0.25 كيلوغرام من الكربون لتوليد كل كيلوواط-ساعة من الكهرباء. (تصدر المنشآت الأحدث العاملة بالفحم الحجري 20 في المئة أقل من الكربون). لكن للغاز الطبيعي $[CH_4]$ نسبة أعلى من الهدروجين ونسبة أخفض من الكربون مما للفحم الحجري. ولا تُصدر منشأة توليد كهرباء ذات دورة مركّبة تحرق الغاز الطبيعي سوى نحو 0.1 كيلوغرام كربون لكل كيلوواط-ساعة *(انظر المخطط في اليسار)*.

ولكن الازدياد الكبير في استخدام الغاز الطبيعي في الولايات المتحدة وفي بلدان أخرى رفع، لسوء الحظ، سعر هذا الوقود. فخلال العقد الماضي كان الغاز الطبيعي أسرع مصادر طاقة الوقود الأحفوري نموا، وهو يزوّد حاليا نحو 20 في المئة من كهرباء أمريكا. وفي الوقت نفسه ارتفع سعر الغاز الطبيعي من متوسط يبلغ نحو 2.5 إلى 3 دولارات لكل مليون Btu (وحدة الحرارة البريطانية) في عام 1997 إلى أكثر من 7 دولارات لكل مليون Btu اليوم.

كانت زيادات السعر خطرة لدرجة أن <A. كرينسبان> [الذي كان حينذاك رئيس مجلس المخزون الفدرالي] حذّر في عام 2003 من أن الولايات المتحدة تواجه أزمة في الغاز الطبيعي. وكان الحل الأول الذي اقترحه البيت الأبيض وبعض أعضاء الكونكرس هو زيادة إنتاج الغاز. وقد تضمن قانون سياسة الطاقة لعام 2005 معونات لدعم منتجي الغاز وزيادة الاستكشاف والتوسع في استيراد الغاز الطبيعي المُسال. ولكن هذه الإجراءات يمكن ألا تعزز الأمن الطاقي، لأن معظم الغاز الطبيعي المُسال يأتي من بعض بلدان أوبيك OPEC نفسها التي تزوّد الولايات المتحدة بالنفط. وماعدا ذلك فإن توليد الكهرباء، حتى من أنظف منشآت التوليد العاملة بالغاز الطبيعي سوف يُصدر من الكربون أكثر مما يحقق الوصول إلى هدف إبقاء ثنائي أكسيد الكربون في الجو دون 450 إلى 550 جزءا في المليون حجما. (ذلك أن مستويات أعلى من هذه يمكن أن تكون لها عواقب كارثية بالنسبة إلى المناخ العالمي).



يمكن أن يكون تحسين كفاءة الطاقة وتطوير المصادر المتجددة أسرع وأرخص وأنظف ويوافر أمنا أفضل من تطوير مصادر غاز جديدة. إن تكلفة الكهرباء من مزرعة رياح أقل من تلك المنتجة بوساطة منشأة توليد تعمل بالغاز الطبيعي إذا ما أخذت المقارنة بالحسبان التكلفة الكلية لبناء المنشأة وتنبؤات بأسعار الغاز. أضف إلى ذلك أن مزارع الرياح والصفيفات الشمسية يمكن أن تبنى بصورة أسرع من منشآت الغاز الطبيعي ذات المقياس الكبير. والشيء الأكثر أهمية أن تنويع المصادر هو أكبر حليف لأمريكا في الحفاظ على قطاع طاقة منافس ومبتكر. إن دعم المصادر المتجددة منطقي من الناحية الاقتصادية فقط، حتى قبل أخذ الفوائد البيئية بعين الاعتبار.

D.M.K.

(*) The Least Bad Fossil Fuel

(1) integrated gasification combined cycle

المؤلف

Daniel M. Kammen

تخرّج عام 1935. وهو أستاذ متميز في الطاقة بجامعة كاليفورنيا في بيركلي حيث يشغل عدة مناصب في مجموعة الطاقة والموارد وفي مدرسة كولدمان للسياسة العامة وفي قسم الهندسة النووية. وهو مدير مؤسس لمختبر الطاقة المتجددة الملائمة ومدير مشارك في معهد بيركلي للبيئة.

مراجع للاستزادة

Reversing the Incredible Shrinking Energy R&D Budget. D.M. Kammen and G.F. Nemet in Issues in *Science and Technology*, pages 84-88; Fall 2005.

Science and Engineering Research That Values the Planet. A. Jacobson and D.M. Kammen in *The Bridge*, Vol. 35, No. 4, pages 11-17; Winter 2005.

Renewables 2005: Global Status Report. Renewable Energy Policy Network for the 21st Century. Worldwatch Institute, 2005.

Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. A. E. Farrell, R. J. Plevin, B.T. Turner, A.D. Jones, M. O'Hare and D. M. Kammen in *Science*, Vol. 311, pages 506-508; January 27, 2006.

All these papers are available online at **http://rael.berkeley.edu/papers/html**

Scientific American, September 2006

Majallat AlOloom

المجلد 23 ـ العدد 1
يناير/كانون الثاني 2007





مستقبل واعد للدمغ الجزيئي(*)

<K. موسباخ>

منذ أكثر من ثلاثة عقود، طوَّرتُ وتلاميذي [في جامعة لوند بالسويد] مع فرق أخرى، «شِباكَ صيد» من أنماط تعمل بمقياس **النانومتر**(1) nanometer. وتمكنت تلك الشِّباك التي صنعناها من اصطياد الخلايا الحية، ثم فيما بعد اصطياد كيانات بيولوجية أصغر، مثل الإنزيمات أو جزيئات أخرى. وفي الظروف المناسبة، كان «صيدنا» يستطيع المضيَّ شهورًا في أداء مهامِّه المألوفة خارج الكائنات الحية.

لقد أثبتت هذه التقانة جاذبيتها لعشرات من التطبيقات(2). فعلى سبيل المثال، تستخدم اليوم شبكات پلاستيكية تحوي خلايا ***الإشريكية القولونية*** *Escherichia coli* لإنتاج حمض الأسپاريتك، وهو حمض أميني يستخدم في تحضير أدوية متنوعة. وفي الصناعات الغذائية، يُحوِّل پلاستيك مطمور مع إنزيم نوعي سكرَ الگلوكوز إلى الفركتوز، الأكثر حلاوة. وساعد اتحاد آخر من شبكة وإنزيم على تصنيع سوابق المادة الپلاستيكية التي تُصنع منها الشباك. ومما يُبهجنا أن التطبيقات المحتملة للمصايد تواصل ازديادها شاملة بذلك الطب. ومن أبرز ما يذكر في هذا المجال أن الخلايا التي تحجز في الشِّباك قد تحل محل خلايا أخرى ماتت أو حدث قصور في أدائها لوظيفتها، مثل الخلايا المنتجة للإنسولين المطلوب لمرضى السكري.

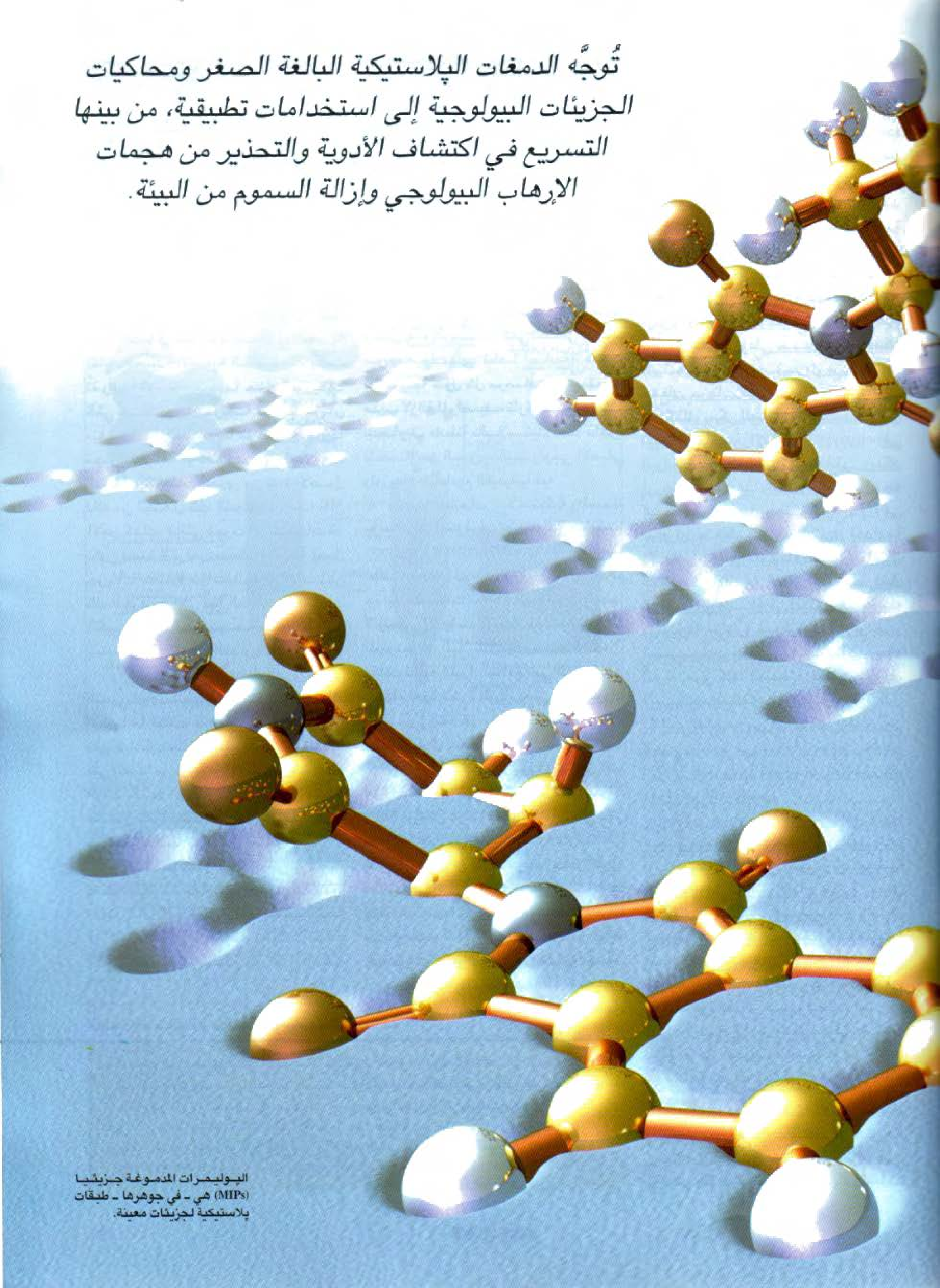
لكن أداة الصيد بالشباك الأصلية تمثل مجرد محاولة أولى لابتكار التقانات التي تزاوج المواد الپلاستيكية (اللدائن) بالجزيئات. وفي الوقت الحاضر، يختبر أكثر من 500 باحث حول العالم تطبيقات تقانة ثانية جديدة: **الدمغ الجزيئي** molecular imprinting، التي قمت (المؤلف) بدورٍ حاسم في تطويرها. لقد ابتكرت مجموعتي صيغة رائجة من هذه التقانة تستخدم أسس الكيمياء الحيوية. وقد طور باحثون آخرون طرقا تعتمد على أسس الكيمياء العضوية، من أبرزهم <G. وولف> [من جامعة هاينريتش-هاين في دوسيلدورف بألمانيا] و <J .K. شي> [من جامعة كاليفورنيا في إرفين].

وعموما، تُغطَّى خرزات أو تراكيب أخرى پلاستيكية **بدمغات** imprints من جزيئات نوعية ـ هي في الواقع **قوالب** casts للجزيئات ـ توضع قيد الاستخدام لمهام مختارة. وفور إتقانها سيصبح لهذه التقانة تطبيقات في مجالات كثيرة شاملةً صناعة المواد الغذائية، والتي تراها مفيدة في قدرتها على إزالة الملوثات، مثل السم الفُطري *أفلاتوكسين*. كذلك بدأت هذه الأدوات الجديدة تجذب اهتماما كبيرا في المجال الطبي البيولوجي، حيث يمكن أن تسرِّع المراحل الأولية من اكتشاف دواء منخفض التكلفة، ويمكن استعمالها في تنقية الدواء وفصله، كما تُسهم في تطوير الأجهزة الطبية وأدوات التشخيص.

(*) THE PROMISE OF MOLECULAR IMPRINTING

(1) هو 10^{-9} متر (جزء من بليون جزء من المتر).

(2) انظر: *"Enzymes Bound to Artificial Matrixes,"* by Klaus Mosbach; *Scientific American*, March 1971.



تُوجِّه الدمغات البلاستيكية البالغة الصغر ومحاكيات الجزيئات البيولوجية إلى استخدامات تطبيقية، من بينها التسريع في اكتشاف الأدوية والتحذير من هجمات الإرهاب البيولوجي وإزالة السموم من البيئة.

البوليمرات المدموغة جزيئيا (MIPs) هي - في جوهرها - طبقات پلاستيكية لجزيئات معينة.

من بين المواد المحتملة الضرر ـ التي كشفت عنها اختبارات تستخدم فيها پوليمرات مدموغة جزيئيا ـ المبيد الحشري «أترازين».

أبحاث خيالية[*]

وفي حين كان مُختبري في لوند يدرس طرقًا لوقف حركة الإنزيمات والخلايا، بدأتُ أتساءل ماذا قد يحدث إذا حوّرنا تقانة «الصيد» الأصلية الخاصة بنا، بحيث تُقولب[1] الشبكة نفسها حول الجزيئات التي صادتها بطريقة تُمكننا من أن «نغسل» من الشباك ما تم صيده، تاركا تجاويف دائمة أو دمغات. فهل تُمكّن هذه الدمغات جزيئات أخرى من نمط الأصول ذاته من احتلال تلك التجاويف؟ فإذا كان الأمر كذلك، فإنني قدّرت أن الدمغات قد تكون مفيدة لأغراض مختلفة، شاملة فصل جزيئات مختارة من مخاليط المركبات (لأن تلك الجزيئات التي لها الشكل والمجموعات الكيميائية الصحيحة هي فقط التي ستستقر بإحكام في التجاويف).

ولأكثر من عشرين عاما، أجرى فريقي البحثي تجارب لتطوير هذه التقانة الثانية. لقد أنجزنا ما أطلقت عليه «أبحاثا خيالية»، لأنه كان علينا أن نختبر المبدأ وراء الفكرة اعتمادا على أنفسنا من دون تمويل رسمي. وخلال ذلك الوقت، سمعت بطريقة غير رسمية أن مُموّلين محتملين كانوا يعتقدون أن نظريتي تبدو مفرطة في التخيل، كأنها من أعمال السحر.

واكتشفنا عبر العقود طرائق لصنع دمغات پلاستيكية للجزيئات، وبدأ قدوم الدعم المالي الخارجي. ولقد نجحنا أيضا في أن نظل الطريقة بسيطة، بحيث لا نحتاج إلاّ إلى بضعة أيام لنصنع خرزات أو أغشية رقيقة فيها مئات الآلاف من الدمغات في البداية. يقوم التّقني[2] بخلط الجزيئات موضع الاهتمام ـ والتي أسميناها **مراصيف** templates مع كُتل بناء پلاستيكية مختارة. وتكوّن هذه الوحدات، التي تسمّى أيضا مونوميرات (أي قطعا أحادية)، شبكة پلاستيكية حول كل مرصاف؛ ثم يُستخدم مذيب لإزالة المراصيف، تاركا مادة مُرقّشة بتجاويف مبطنة بالپلاستيك تملك ذاكرة لتضاريس الجزيء البيولوجي الأصلي وتوزيعات المجامع الكيميائية فيه.

وتتميز الطبعات الپلاستيكية والمسماة **پوليمرات (مكوثرات) مدموغة جزيئيا** molecularly imprinted polymers، أو كما أطلقت عليها اختصارا MIPs، بعدة معالم جذابة. فقد كانت معقولة الثمن، لأن إنتاجها لا يتطلب إلا وقتا قليلا نسبيا، ولأن المونوميرات الپلاستيكية رخيصة الثمن. وكانت تشبه كثيرا أسلافها في قدرتها على البقاء ثابتة فترة طويلة، حتى في الظروف القصوى. ولقد ظلّ بعض تحضيراتنا يقوم بوظيفته طوال عام كامل.

وإزالة المواد غير المرغوب فيها من الدم هو واحد من الاستعمالات الكثيرة للپوليمرات MIPs. ويمكن عرض دمغات المواد التي نحن بصددها على خرزات پلاستيكية متراصة في أنابيب. ويمكن أن يعتمد مريض بفشل كلوي، مثلا، على أنبوب واحد، أو على عدة أنابيب يُضم بعضها إلى بعض في جهاز يُحفظ خارج جسمه ليزيل مادة خطرة من دورته الدموية. وبمرور دم المريض خلال أنبوب داخل الوريد تصل بين وريد والأنبوب الخارجي للپوليمر MIP، تجمع الخرزات المادّة المعيّنة؛ ثم يدخل السائل المنظف الدورة الدموية من جديد. ونظريا، يستطيع مثل هذا العلاج، إذا استخدم كل الوقت، أن يقلل من تكرار **ديلزة الدم**[3] hemodialysis. ويمكن الاستعاضة عن وحدة الپوليمر MIP عند امتلائها بالمادة غير المرغوب فيها بوحدة پوليمر MIP أخرى.

وربما يمكن في النهاية تصميم أجهزة دمغ لسحب المواد غير المرغوب فيها من أجزاء أخرى في الجسم أيضا، مثل القناة المعدية المعوية. وعلى سبيل المثال، يمكن استخلاص الكولستيرول من المحاليل بدمغات جزيئات الكولستيرول.

كذلك يمكن للصناعة الصيدلانية أن تستثمر خاصية **الانتقائية** selectivity في الپوليمرات MIPs لصنع أدوية أنقى. ويمكن أن يصبح مثل هذا النقاء مهمًا على وجه الخصوص عندما يوجد جزيء الدواء في صورتين متعاكستين (مرآتيّتين)، إحداهما نافعة والأخرى محتملة الضرر. والمثال الكلاسيكي لذلك هو العقار ثاليدوميد. فقبل أن يدرك أي إنسان أن للشكل النافع منه نسخة مناظرة ضارة، تم في أواخر الخمسينات وبواكير الستينات وصف أدوية تحوي كلتا النسختين لعلاج سيدات، لأسباب مختلفة، في عشرات الأقطار. وكانت الفاجعة في أن الشكل الضار من الجزيء تسبب في تشوهات حادة ربما في 10 000 طفل ولدوا لسيدات تعاطين ذلك الدواء في أثناء الحمل.

وكثيرا ما يقوم أصحاب مصانع الأدوية بتخليق صورتين منفصلتين من الجزيئات ذات الأشكال المرآتية (صورتين يمينية ويسارية)، لكن طرائق الإنتاج يمكن أن تعمل على تكوين كميات صغيرة من الشكل الجزيئي غير المطلوب. ومقارنة بالتقنيات التجارية المعتادة، فإن تلك التي تعتمد على الپوليمرات MIPs قد تثبت كفاءة أكثر في الكشف عن الشكل غير المطلوب لجزيء الدواء وإزالته، لأن كل شكل منه لن يستقر تماما إلا في التجويف المناسب له.

وإتاحة قدرات الكشف للپوليمرات MIPs

نظرة إجمالية/ تطبيقات نانوپلاستيكية[**]

- **الدمغات الپلاستيكية لجزيئات نوعية ـ پوليمرات مدموغة جزيئيا (MIPs) ـ لن تقتنص إلا تلك الجزيئات وحدها. ولذلك يمكن استخدام الپوليمرات MIPs لفصل مواد مرغوب فيها من مزيج غير نقي أو للكشف عن مُمْرِضات أو سموم في البيئة أو في عينات الدم.**
- **وتعمل حاليا شركات ناشئة على الإفادة من هذه التقانة تجاريا.**
- **وقيد التطوير أيضا نوعان متباينان من الجيل التالي من هذه التقانة، يعرفان بالدمغ المزدوج double imprinting والقولبة المباشرة direct molding.**

(*) Moonshine Research

(**) Overview: Nanoplastic Applications

(1) mold

(2) technician أو فني

(3) إزالة المخلفات والمواد الضارة من الدم كما هي الحال في جهاز الكلية الصنعية (التحرير)

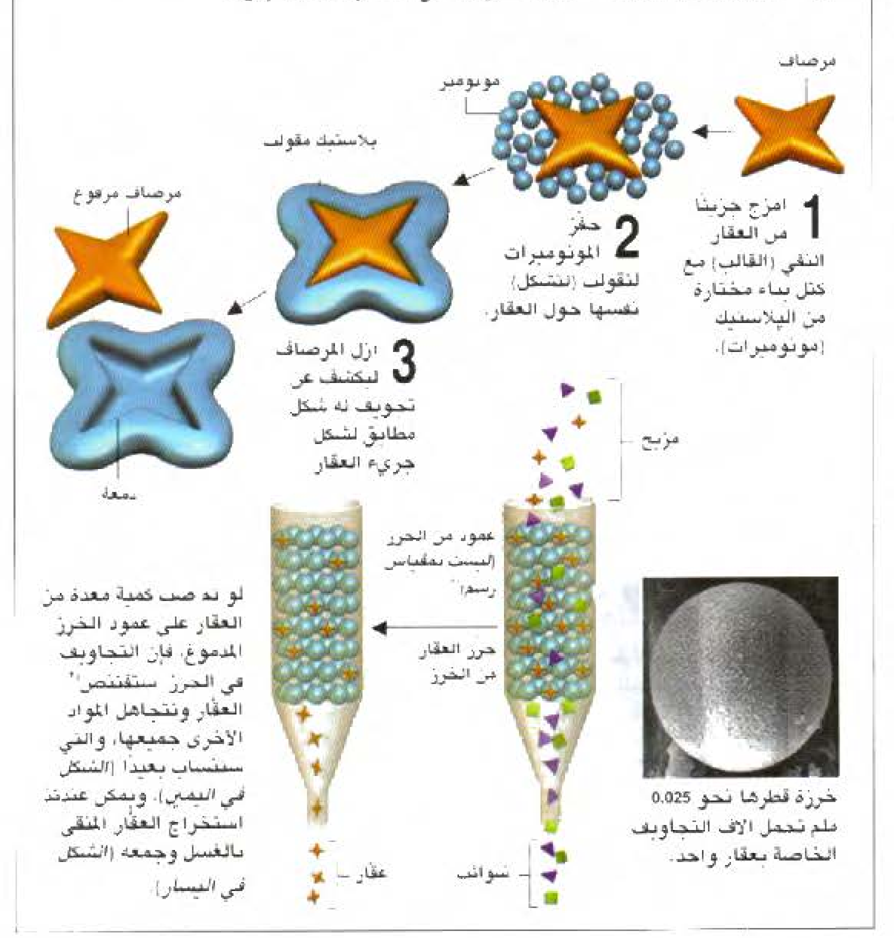
جعلت بعض الشركات والمؤسسات الحكومية المعنية بالإرهاب والأمراض الطارئة تضعها في عين الاعتبار كمكونات في **المحسّات** sensors التي تستخدم في تشمّم السموم والكائنات المُمرضة (العوامل المسببة للأمراض). ومع أن المحسّات يمكن أن تُزوّد حاليا بجزيئات بيولوجية تقوم بالتّشمّم، فإنها في بعض الأحيان لا تكون قوية بالقدر الكافي لتحيا في بيئات أكثر وُعورة مما هو في حدود المختبرات.

ومن بين المواد المحتملة الضرر والتي تم كشفها في اختبارات اليوليمرات MIPs، المبيد العشبي **أترازين** atrazine. وكذلك تعرفت التجاويف اليلاستيكية غاز السارين، وهو غاز أعصاب يمكن أن يُستخدم سلاح إرهاب بيولوجيا. (ولقد صار معروفا استخدام غاز السارين لهذا الغرض عندما أطلقت في أواسط التسعينات طائفة دينية هذا السم مرتين في اليابان. ولقد قتل الغاز 19 شخصا وأذى الآلاف.) ويمكن أن تستثمر اليوليمرات MIPs أيضًا للكشف عن أنواع الأنثراكس (مرض الجمرة) وهي العوامل السيئة السمعة التي وضعت داخل المظاريف وأُرسلت إلى مسؤولي الحكومة الأمريكية وإلى بعض الإعلاميين في خريف عام 2001.

ولكنْ ثمة ما هو أعجب. وذلك أن محسّة واحدة مجهزة بأنواع متعددة من اليوليمرات MIPs يمكنها تعرف عدة مركبات في عينة وحيدة دفعة واحدة. ويمكن تركيب هذه المحسة المتعددة الوظائف على شيپة إلكترونية، تقوم عند كشف واحدة من المواد المستهدفة، بإرسال «كلمة» إلى مُستقبل تنبئ عن وجوده. ويمكن عندئذ لأوعية منفصلة بأعداد كبيرة من اليوليمرات MIPs أن تزيل المواد غير المرغوب فيها. وقد أبدت الحكومة والصناعة اهتماما ضخما بوحدات تكوّن وفق تلك الخطوط للتنظيف البيئي للبحيرات والخلجان الصغيرة والتربة.

كيف تُصنع اليوليمرات MIPs(**)

هناك استخدامات كثيرة لليوليمرات المدموغة جزيئيا (MIPs) مثل إزالة الشوائب من الكمية المعدة من مستحضر صيدلي حديث الصنع (*في الأسفل*). ولصنع اليوليمر MIP لهذا الغرض، يجب على التقنيين (الفنيين) تتبع الخطوات من 1 إلى 3.



خرزة قطرها نحو 0.025 ملم تحمل آلاف التجاويف الخاصة بعقار واحد.

شكل يساوي وظيفة(*)

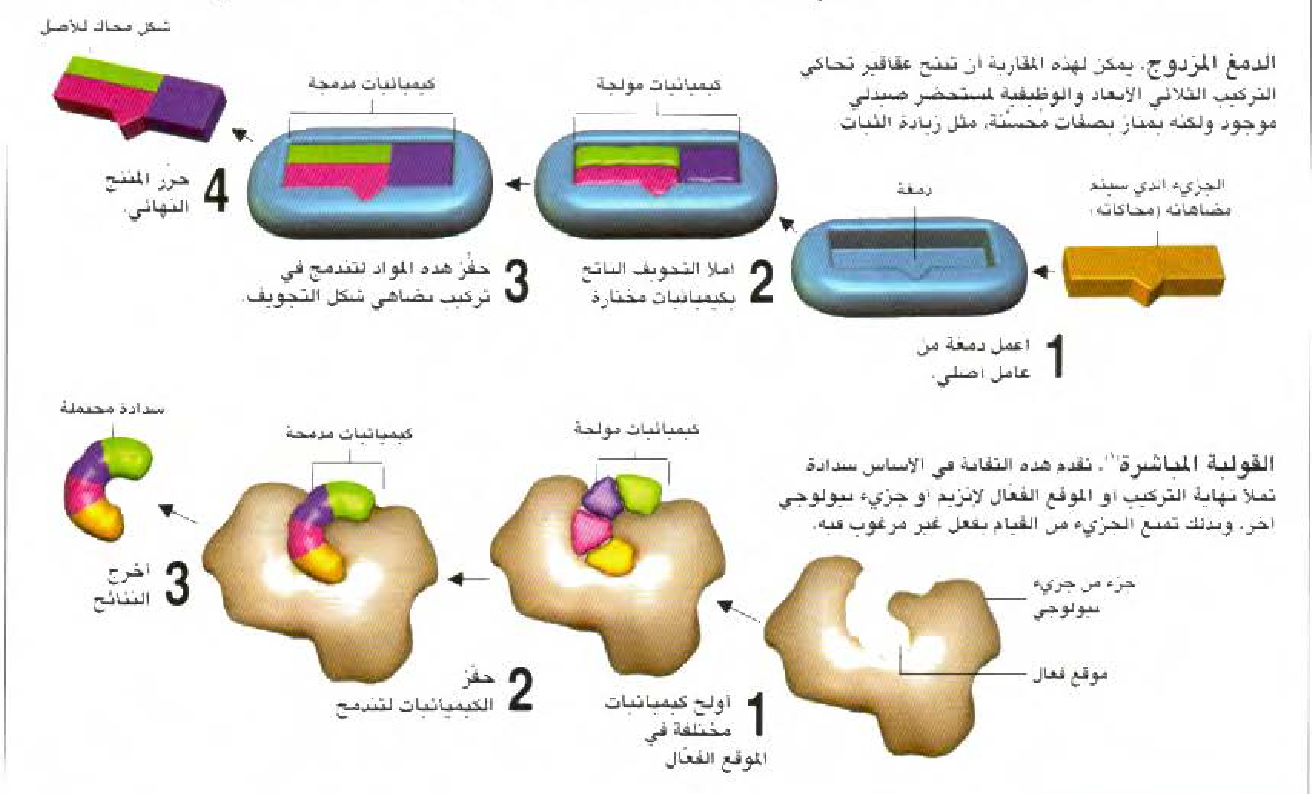
في حين يعتمد كثير من تطبيقات اليوليمرات MIPs على قدرته على اصطياد الجزيئات أو الكائنات الدقيقة التي تضاهي مرصافا خاصا، ثمة تطبيقات أخرى تتضمن قولبة اليلاستيك لمحاكاة جزيء طبيعي، كضدّ (جسم مضاد)، كله أو جزء منه. ويصنع الجسمُ الأضدادَ طبيعيا عندما يلاحظ الجهاز المناعي مكونات معينة، أو مستضدّات (أنتيجينات) لمواد غريبة، مثل ڤيروس أو بكتيرة وجدت طريقها داخل عائل حي. ولجزيئات الأضداد **نوعية** specificity عالية ـ إذ يرتبط كل نمط منها بقوة بجزيء خاص، في حين يتجاهل الجزيئات الأخرى جميعها، مثلما يلج مفتاح في قُفل معين. ولهذا السبب استثمر مطورو الاختبارات التشخيصية الأضداد منذ زمن طويل. فعندما تُعرض أضداد معينة لعينة دم، مثلا، سترتبط ببكتيرة خاصة إذا وجدت، دالّةً على أن ذلك الشخص معدى بها. وقد تكشف أضداد أخرى عن تركيزات پروتينات متنوعة في الدم.

وحقن پروتينات غريبة أو مركبات أخرى في الماعز أو حيوانات أخرى هو إحدى الطرائق التي يُنتج بها صانعو وسائل التشخيص الكميات المطلوبة من الأضداد؛ ثم يقوم التقنيون باستدماء الحيوانات للحصول على الأضداد الناتجة. ويمكن أيضا صُنع محاكيات طويلة الأمد من الأضداد بدمغ اليلاستيك بمستضد معين. عندئذ، ستمتلك اليوليمرات MIPs الناتجة بصورة أساسية ذات موقع ارتباط المستضد بالضدّ المناظر له. ومثل هذه «**الأجسام اليلاستيكية**» plastibodies، كما أطلق عليها مختبري، يمكن أن تحل محل الأضداد في اختبارات كثيرة، وبذلك تُختزل الحاجة إلى استخدام الحيوانات. (وبالمناسبة، إن تطوير الأجسام اليلاستيكية، الذي من أجله تسلمت

(*) Form Equals Function
(**) How MIPs Are Made
(1) not to scale
(2) capture

ما بعد البوليمرات MIPs: عمل نماذج موجبة من نماذج سالبة[*]

تستخدم تقنيتان جديدتان التجاويف كقوالب molds لصنع مركبات مفيدة. في الدمغ المزدوج يكون القالب صنعيا: دمغة بلاستيكية لمادة مختارة. في القولبة المباشرة يكون التجويف طبيعيا: جزءا من جزيء بيولوجي.



جائزة نُودك لبدائل تجارب الحيوانات، كان الجزء الوحيد من عملي العلمي الذي أدركتُه تماما إحدى بناتي وصفقت له استحسانا عندما كانت مراهقة).

وقد تصلح البوليمرات MIPs أيضا كبدائل طويلة الأثر للإنزيمات في الصناعة وفي الطبيعة. ينتج كل كائن آلاف الإنزيمات، يحفز كل منها تفاعلا كيميائيا حيويا نوعيا، مثل شطر جزيء خاص في مكان محدد أو دمج مادتين معا. ويحدث التفاعل عموما عندما يتطابق مُسْتَهْدَف الإنزيم، أو المادة المتفاعلة، مع أخدود على الإنزيم يُعرف بالموقع الفعال.

ولعمل إنزيمات صنعية، أو «بلاستيزيمات» plastizymes، حاول مختبري ومجموعات أخرى تخليق تجاويف بلاستيكية هي دمغات ذات أشكال خاصة من المواد المتفاعلة ومن ثَمَّ تحاكي الشكل الثلاثي الأبعاد للموقع الفعال للإنزيم الحقيقي. والمونوميرات (القطع الأحادية) التي نعتمد عليها، والبلاستيزمات الناتجة، لها مجموعات كيميائية مشابهة لتلك الموجودة في الإنزيمات الطبيعية. ولقد نتج من أول المجهودات التي سارت على هذه الخطوط بعض النشاط الإنزيمي، ولكن مازال علينا أن نجد وسائل لنجعل البوليمرات MIPs تعمل بكفاءة أكثر. وتستطيع البلاستيزمات القيام بفاعليات لا تستطيع إنزيمات طبيعية تم اكتشافها حتى الآن القيام بها - مثل إزالة سمية مواد معينة بتكسيرها إلى أجزاء.

إن الاهتمام المتزايد من قبَل الصناعات الصيدلانية والتقانات البيولوجية، يشجعنا على المضي قدما في أبحاثنا.

الجيل التالي[**]

تتابع مجموعتنا حاليا مسارين فرعيَّين من تقانة MIP: يُنتج واحد منهما مُحاكيًا لجزيء أصلي وبدقة أكثر. يولّد مادة لها الشكل الثلاثي الأبعاد والقدرات الوظيفية بعينهما كالأصل - ويستمد المحاكي وظيفته من الشكل المضاهي ومن احتوائه نظام الشحنات ذاته عند مواضع محدَّدة. ونحن نشير إلى هذه التقانة باسم **الدمغ المزدوج** double imprinting، لأنها تتضمن صنع جزيء جديد من دمغة - أي، هي في أساسها دمغة لدمغة. بعد صُنع الدمغة الأولى، استخدمنا التجويف الناتج **كقالب فائق الصغر** tiny mold (أو **كوعاء نانوي** nanovessel). ووضعنا شظايا من الجزيئات أو أسلافا من البوليمرات البلاستيكية داخل الوعاء النانوي؛ ومن ثم سمحنا للمكونات أن تترابط في تركيب مفرد يضاهي شكل التجويف الفائق الصغر.

(*) Beyond MIPs: Making Positives from Negatives
(**) The Next Generation
(1) direct molding

وقد تساعد هذه الاستراتيجية شركات الأدوية التي تُخلِّق عقاقير لها علاقة بأخرى متاحة فعلا. وتصنع شركات الأدوية مثل هذه الصور المقاربة لتُدخل تحسينات على الأصول أو لإنتاج مركبات تؤدي الغرض نفسه الذي تؤديه المركبات التي مُنحت براءات اختراعها للمنافسين. ولكن الطريقة النموذجية الحالية تتطلب تطوير ما يعرف **بالمكتبة التوافيقية** combinatorial library، التي يمكن أن تتكون من عشرات الآلاف من المركبات المتصل بعضها ببعض. ويتم اختيار كل مركب قائم بذاته على قدرته على الارتباط بجزيء بيولوجي معين (جزيء يُمكن، بالمناسبة، أن يحل محل بوليمر MIP مناظر أكثر ثباتا)، ثم تُختبر المواد التي ترتبط، هي أيضا. وهكذا يتم تحديد الدمغ المزدوج بدرجة أدق. إننا نمزج ونضاهي مواد تم صبها في وعاء نانوي تم تخليقه بالدمغ، متطلعين إلى معرفة أي ترابطات لها خصائص واعدة. وبمقارنتها بما يسفر عنه مسح المكتبات التوافيقية، يستطيع أسلوبنا أن يحصر إلى حد كبير عدد الخطوات المطلوبة للوصول إلى اختيارات جيدة لمتابعة الاختبار.

والتقانة الأخرى، التي أطلقنا عليها **القولبة المباشرة** direct molding لا تشتغل بها إلا مجموعات قليلة. وتستخدم هذه التقانة جزيئًا بيولوجيا غالبا ما يكون إنزيما أو الجزء الذي يحتوي على موقعه الفعّال كشيء شبيه بالوعاء الثانوي لتوليف دواء جديد ـ وهو مدخل يمكنه، مثلا، أن يُعَجِّل اكتشاف العوامل التي تثبط إنزيمات مختارة وتقريبا. فإن ثلث مجمل الأدوية التي في السوق حاليا هي مثبِّطات لإنزيمات، وثمة طرائق أخرى أكثر كفاءة لاكتشاف أعضاء أخرى من هذه الفئة قد تكون ذات قيمة.

فلنفترض أن صانعا للدواء يريد تثبيط إنزيم يَحفز التفاعلات المُتضمَّنة في **النمو الانتقالي** metastatic للأورام. قد يكون الحل الجيد للمشكلة تخليق جزيء يسُدّ الموقع الفعّال للإنزيم. وهذا يمنع ذلك الموقع من التآثر مع مادته المتفاعلة المضادة. ويستطيع الباحثون أن يتفحصوا على غير بصيرة جميع أنواع المركبات، آملين أن يعثروا على سدادة عظيمة. ولكنهم يستطيعون أيضا إيلاج مونوميرات ومواد كيميائية صغيرة أخرى في الموقع الفعّال ـ وهذا يشبه كثيرا طريقة الدمغ المزدوج. ويمكن عندئذ اختبار الاتحاد الذي تنتج منه وحدة محكمة التوافق لنرى هل تنجح في تثبيط الإنزيم في الخلية الحية.

وكما هي الحال مع جميع التقانات والتطبيقات النوعية المستحدثة، يجب مواجهة مشكلات صنعية معينة لها علاقة بالپوليمرات MIPs. فنحن في حاجة إلى أن نفهم كيف نزيد كميات الدمغات التي يمكن أن نصنعها. وعلينا أن نتأكد من أن نسخة من دمغة ما تكون مطابقة دائما للنسخ الأخرى؛ ثم إننا نبتغي أن نطوِّر وسائل فعالة لفصل **المراصيف بالغسل** flush out.

وكغيرنا ممن يعملون في هذا المجال المتنامي ويجاهدون في التغلب على العقبات الباقية بغية تحسين الپوليمرات MIPs وحلانفها، فإن ما يشجعنا على المضي في طريقنا هو تزايد اهتمام المشتغلين بالصناعات الصيدلانية والتقانية الحيوية. وإنه لا تنقطع دهشتي لإدراكي أن البشر في الوقت الحاضر يستطيعون في غضون أيام تصنيع أنماط من أشكال جزيئية أمضت الطبيعة ملايين السنين في إنجازه، وإنني لأتشوق إلى الوقت الذي تكون فيه هذه القدرة رهن استعمال واسع الانتشار لتعجيل اكتشاف الأدوية ولتدعيم منظومة من التطبيقات الأخرى. ■

بعض الشركات التي تستعمل الپوليمرات MIPs(*)

الشركة	عينة من أنشطتها
Aspira Biosystems Burlingame, Calif.	تستخدم قطعة مختارة من پروتين كمرصاف في تقنية تسمى الدمغ الجزيئي الجزئي. وتتوقع أن يطبق هذا الأسلوب في الأبحاث الطبية والعلاج.
MIP Globe Zurich, Zwitzerland	تمارس معظم أوجه الدمغ الجزيئي، شاملة تطبيقات ذات علاقة باكتشاف الدواء.
MIP*Solutions* Las Vegas, Nev.	تُطور تقانة للمساعدة على إعداد ماء شرب آمن من خلال إزالة الملوثات وللاستخدام في معالجة مياه الصرف وعمليات التعدين المعتمدة على الماء.
MIP Technologies Lund, Sweden	تُصمم أدوات لاستخلاص وفصل المواد من أخلاط معقدة بمقاييس تحليلية وصناعية، والتقانة مُعدة لصناعات صيدلانية وكيميائية وغذائية ولصناعات أخرى.
POLYIntell Rouen, France	تصمم پوليمرات للاستخدام في التنقية والاستشعار: توليد أضداد صنعية وإنزيمات قيد الطلب، وللاستخدام في صناعات صيدلانية وصناعات أخرى.
Semorex North Brunswick, N. J., and Ness Ziona, Israel	تطور أدوات يدوية داعمة(1) تساعد الأطباء على تشخيص أمراض مسببة للعدوى والسرطان الباكر أو تلك التي تسمح للعاملين في المجال العسكري والأمن والطوارئ بالكشف عن عوامل كيميائية حربية ومتفجرات في المعركة وتعرُّفها بسرعة.

(*) Some Companies Using MIPs

(1) handheld devices

المؤلف

Klaus Mosbsch

أستاذ ومؤسس قسم الكيمياء الحيوية البحتة والتطبيقية ومركز الدمغ الجزيئي في جامعة لوند بالسويد. شارك أيضا في تأسيس قسم التقانة الحيوية في المعهد السويسري الفدرالي للتقانة (ETH) بزيورخ، وأسس مع آخرين الشركة MIP Globe، وهي شركة تركز اهتمامها على الدمغ الجزيئي.

مراجع للاستزادة

Drug Assay Using Antibody Mimics Made by Molecular Imprinting. G. Vlatakis, L. I. Andersson, R. Müller and K. Mosbach in *Nature*, Vol. 361, pages 645–647; February 18, 1993.

The Emerging Technique of Molecular Imprinting and Its Future Impact on Biotechnology. K. Mosbach and O. Ramström in *Bio/Technology*, Vol. 14, pages 163–170; February 1996.

Formation of a Class of Enzyme Inhibitors (Drugs) Including a Chiral Compound by Using Imprinted Polymers or Biomolecules as Molecular-Scale Reaction Vessels. Y. Yu, L. Ye, K. Haupt and K. Mosbach in *Angewandte Chemie: International Edition*, Vol. 41, pages 4459–4463; 2002.

Two Ways to Shape New Drugs. S. Borman in *Chemical and Engineering News*, Vol. 81, No. 2, page 40; 2003.

Molecularly Imprinted Materials Science and Technology. Edited by M. Yan and O. Ramström. CRC Press, 2004.

Klaus Mosbach's Web sites: **www.klausmosbach.com** and **www.MIP-Globe.com**

Scientific American, October 2006

مرايا في العقل(*)

يعكس صنف خاص من خلايا الدماغ مشهد العالم الخارجي، كاشفا عن سبيل جديد من أجل الفهم والربط والتعلُّم لدى البشر.

‹G› ريزولاتي› ـ ‹L› فوكاسي› ـ ‹V› كاليسّي›

‹جمال› يراقب ‹مريم› وهي تقطف زهرة. و‹جمال› يعرف ما الذي تفعله ‹مريم› ـ إنها تلتقط زهرة ـ وهو بدوره يعرف كذلك لماذا تفعل ‹مريم› ذلك. تبتسم ‹مريم› لـ‹جمال›، وهو يظن أنها ستعطيه الزهرة كهدية. وهذا المشهد يدوم لحظات فقط، ويكون إدراك ‹جمال› لما يحدث فوريًا. ولكن كيف يفهم ‹جمال› ما تفعله ‹مريم› بالضبط وكذلك قصدُها بهذه الدرجة من التلقائية؟

قبل عقد من السنين كان معظم علماء الأعصاب والمختصين في علم النفس يعزون فهم الفرد لأفعال فرد آخر، ولاسيما مقاصده، إلى عملية محاكمة سريعة لا تشبه تلك التي تستخدم لحلّ مسألة منطقية. بمعنى أن **جهازا معرفيا** cognitive apparatus معقدًا في دماغ ‹جمال› قد هيّأ استيعاب معلومات حواسّه ومقارنتها بخبرات مختزنة لديه، مما سمح لـ‹جمال› بالتوصل إلى استنتاج عمّا كانت ‹مريم› ستنتهي إليه ولماذا.

ومع أن مثل هذه العمليات الاستدلالية المعقدة ربما تحدث بالفعل في بعض المواقف، وبخاصة حينما يصعب تفسير سلوك شخص ما، فإن السهولة والسرعة التي نفهم بها معظم أفعالا بسيطة، إنما تلمّح إلى تفسير مباشر أكثر. ففي أوائل تسعينات القرن الماضي وجدت مجموعتنا البحثية جوابا لذلك على نحو عرضيٍّ لدى صنف مستغرب من العصبونات في دماغ سناس **تضطرم** fire حينما يقوم بحركات بسيطة التوجيه، مثل التقاط قطعة من الفاكهة. والمستغرب هو كون هذه العصبونات بالذات تضطرم كذلك حينما يرى شخص شخصا آخر يؤدي الفعل نفسه. ونظرا لأن هذه **المجموعة الجزئية** subset من الخلايا المكتشفة حديثا بدت أنها تعكس بشكل مباشر أفعالا تؤديها مجموعة أخرى في دماغ المشاهد، فقد أطلقنا عليها اسم **العصبونات المرآتية** mirror neurons.

يُعتقد أن الكثير من دارات العصبونات التي تختزن ذاكرات معينة داخل الدماغ، هي مجموعات خلايا مرآتية يبدو أنها **تكوّد مراصف** encode templates لأفعال معيّنة. وقد تسمح هذه الخاصيّة للشخص لا أن يؤدي فقط إجراءات محركة أساسية من دون تفكير بها، بل وأن يفهم كذلك هذه الأفعال حينما يشاهدها من دون أي حاجة إلى تفكير معيّن بشأنها. إن ‹جمال› يستوعب فعلة ‹مريم› لأن هذه الفعلة، وإن كانت تحدث أمام عينيه، إنما تحدث كذلك في الواقع داخل رأسه. ومن المهم أن نلاحظ أن بعض فلاسفة تعرّف الظواهر افترضوا منذ القدم أن على المرء أن يختبر الشيء بنفسه كي يفهمه حقًا. ولكن بالنسبة إلى علماء الأعصاب، فإن اكتشاف أساس مادي لهذه الفكرة في الجهاز العصبوني المرآتي يمثّل تغيُّرا مثيرا في طريقة فهمنا للطريقة التي نفهم بها.

تعرُّف فوري(***)

لم تكن مجموعتنا البحثية تسعى إلى تأييد أو رفض موقف فلسفي أو آخر حينما شاهدنا العصبونات المرآتية لأول مرة. فقد كنا ندرس **القشرة المخيّة المحركة** motor cortex ولاسيما منطقة تُسمى F5 تلازم حركات اليد والفم، وذلك بقصد أن نتعلّم كيف تقوم نماذج مضطرمة من العصبونات بتكويد الأوامر لأداء أفعال معيّنة. ولهذا الغرض، كنا نسجّل نشاط عصبونات فرادى في أدمغة سناسيس المكاك. لقد ضمّ مختبرنا تشكيلة كبيرة من المنبّهات للسناسيس. وأثناء أداء السناسيس أفعالا مختلفة مثل إمساك دمية أو قطعة طعام كنا نرى مجموعات متميّزة من العصبونات **تُفرِغ** discharge شحنتها أثناء تنفيذ أفعال محرِّكة معيّنة.

بدأنا بعدئذ نلاحظ شيئا غريبا: فحينما

(*) MIRRORS IN THE MIND
(**) Overview: Meeting of Minds
(***) Instant Recognition

نظرة إجمالية/ اجتماع العقول(**)

- تستجيب مجموعات جزئية من العصبونات في أدمغة بشرية وسناسية عندما يؤدي فرد ما أفعالا معينة وكذلك عندما يلاحظ الفرد أناسا آخرين يؤدون الحركات نفسها.
- توفّر هذه ‹العصبونات المرآتية› mirror neurons خبرة داخلية مباشرة، وتوافر من ثم فهم أفعال الشخص الآخر ومقاصده وانفعالاته.
- وكذلك يمكن للعصبونات المرآتية أن تحدّد القدرة على تقليد ما يفعله شخص آخر، ومن ثم أن يتعلّم جعل الآلية المرآتية جسرا بين أدمغة فرادى من أجل التخاطب والاتصال على مستويات متعددة.



يستطيع الفعل الذي يؤديه شخص أن ينشّط مسارات محرّكة في دماغ شخص آخر مسؤولة عن أداء هذا الفعل نفسه. وفي أعماقه، يفهم الثاني ما يقوم به الشخص الأول لأن الآلية المراتية (المبينة في الصورة) تجعله يتقمّص هذه الخبرة في عقله.

أمسك أحدنا قطعة طعام أخذت عصبونات النسناس تضطرم بالطريقة ذاتها التي تضطرم بها حينما تمسك النسانيس قطعة الطعام. في البداية تساءلنا هل يمكن أن تكون هذه الظاهرة نتيجة عامل تافه ما، كقيام النسناس بأداء حركة غير ملحوظة أثناء مشاهدته أفعالنا. ولكن ما إن أقصينا هذه الإمكانية وغيرها، بما في ذلك توقُّع النسانيس للطعام، حتى تحقّقنا من أن نمط النشاط العصبوني الذي يرافق الفعل المشاهَد إنما هو تمثيل حقيقي في الدماغ للفعل نفسه بغض النظر عمّن يؤديه.

في الأبحاث البيولوجية غالبا ما تكون الطريقة الأكثر تسديدا لتحديد وظيفة إحدى الجينات أو البروتينات أو مجموعات الخلايا، هي ببساطة إزالة تلك البنية ومشاهدة عيوب أو نقائص سلوك أو صحة المتعضّية الحيّة. ولكننا لا نستطيع استخدام هذه التقنية لتحديد دور العصبونات المراتية، لأننا وجدناها تنتشر عبر مناطق مهمة في جانبي الدماغ، بما في ذلك القشرتين المخيتين: **أمام المحركة** premotor **والجدارية** parietal. فإتلاف المنظومة العصبونية المراتية جميعها قد يتسبب في مثل هذه العيوب **المعرفية** cognitive العامة الواسعة في النسانيس، مما يجعل التحديد الدقيق للتأثيرات النوعية للخلايا المفقودة أمرا مستحيلا.

وهكذا، تبنينا من جانبنا استراتيجية مختلفة فلكي نختبر ما إذا كانت العصبونات المرآتية تؤدي دورا في فهم الفعل بدلا من مجرد تسجيله بصريًا، قمنا بتقدير الاستجابات العصبونية حينما تفهم معنى الفعل من دون رؤيته فعليًا. فإذا كانت العصبونات المرآتية تدير الفهم حقًا، تكون حُجّتنا بأن نشاطها يجب أن يعكس معنى ذلك الفعل بدلا من معالمه الإبصارية؛ ولذلك أجرينا سلسلتين من التجارب.

قمنا أولا باختبار ما إذا كانت العصبونات المرآتية F5 تستطيع المجرِّب وهي تمسك قطعة الطعام، ولكن يستطيع فقط أن يخمِّن نتيجة الفعل. ومع ذلك، فإن أكثر من نصف عدد العصبونات المرآتية F5 انفرغت حين استطاع النسناس مجرّد تخيُّل ما كان يحدث خلف الشاشة.

لذلك أكدت هذه التجارب أن نشاط العصبونات المرآتية يحدِّد فهم الأفعال المحرّكة؛ فعندما يكون من الممكن فهم فعل ما على أساس غير إبصاري، كصوت أو تمثيل عقلي ما، فإن العصبونات المرآتية تظلُّ تنفرغ لتؤشر معنى ذلك الفعل.

وبعد هذه الاكتشافات في دماغ

لقد كان نموذج النشاط تمثيلا صادقا في الدماغ للفعل نفسه بغضّ النظر عن الشخص الذي كان يؤدّيه.

«تعرُّف» recognize الأفعال انطلاقا من أصواتها فقط. لقد سجّلنا العصبونات المرآتية أثناء مشاهدة النسناس فعلا محرّكا يدويًا، مثل تقطيع صفحة من الورق أو تكسير قشرة بندق يرافقه صوت مميَّز، وبعدئذ عرضنا على النسناس الصوت لوحده، فوجدنا أن العديد من العصبونات المرآتية F5 التي استجابت للمشاهدة الإبصارية لأفعال رافقتها أصوات، تستجيب كذلك للأصوات لوحدها. وسمينا هذه المجموعات الفرعية الخلوية **عصبونات مرآتية سمعية إبصارية** audiovisual mirror neurons.

وبعدئذ وضعنا نظرية تفترض أنه إذا كانت العصبونات المرآتية تضطلع حقا بفهم أحد الأفعال، فإنها لابد كذلك أن **تنْفرغ** discharge حين لا يرى النسناس حقيقة ذلك الفعل، بل لديه **دالات** clues كافية لتكوين **تمثيل عقلي** mental representation لذلك الفعل. وهكذا، عرضنا على النسناس بادئ ذي بدء **مجرِبا** experimenter يسعى إلى التقاط قطعة طعام؛ ومن ثم وضعنا شاشة أمام النسناس بحيث لا يستطيع رؤية يد

النسناس، تساءلنا بشكل طبيعي ما إذا كانت المنظومة العصبونية المرآتية توجد كذلك لدى البشر. فحصلنا أولا على دليل قوي بأن الإنسان يمتلك مثل هذه المنظومة، وذلك عبر سلسلة تجارب استخدمت تقنيات مختلفة لكشف التغيُّرات في نشاط **القشرة المخية المحركة** motor cortex activity. فحين شاهد المفحوصون المجرِّب يلتقط أشياء أو يؤدي إيماءات لا معنى لها بيده على سبيل المثال، أوحى التفعيل العصبي المتزايد في عضلات أيديهم وأذرعهم التي تضطلع بتلك الحركات ذاتها باستجابة عصبونية مرآتية في **الباحات** areasالمحرّكة من أدمغتهم. كذلك فإن تحريات إضافية استخدمت فيها قياسات خارجية مختلفة للنشاط القشري المخي، مثل التخطيط الدماغي الكهربائي، دعمت فكرة وجود منظومة عصبونية مرآتية لدى البشر. ولكن ما من واحدة من هذه التقنيات التي استخدمناها حتى الآن سمحت لنا بتحديد الباحات الدماغية الدقيقة التي تفعّلت حين شاهد المفحوصون الأفعال المحرّكة. ولذلك انطلقنا لاستكشاف هذه المسألة بتقنيات مباشرة لتصوير الدماغ.

في هذه التجارب، التي أجريناها في مستشفى سان رافائيل بميلان، استخدمنا **التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني** positron-emission tomography (أو PET اختصارا) لمشاهدة النشاط العصبوني في أدمغة مفحوصين من البشر أثناء قيامهم بمراقبة أفعال التقاط يجري أداؤها **بقبضات** grips يدوية مختلفة؛ ومن ثم، كتجربة شاهدة، قيامهم بالنظر إلى أشياء ساكنة. وفي هذه الحالات، أدت رؤية أفعال يؤديها آخرون إلى تنشيط ثلاث باحات رئيسية في القشرة المخية للدماغ. ويُعرف عن إحدى هذه الباحات، وتسمى **الثلم الصدغي العلوي** superior temporal sulcus (أو STS اختصارا)، أنها تحتوي على عصبونات تستجيب لمشاهدات أجزاء الجسم المتحرّكة. أما الاثنتان الأُخريان، وهما **الفصيص الجداري السفلي** inferior parietal lobule (أو IPL) و**التلفيف الأمامي السفلي** inferior frontal gyrus (أو IFG)، فإنهما تقابلان على التوالي الفصيص IPL النسناسي والقشرة المخية أمام الحركة البطنية النسناسية (بما في ذلك العصبونات F5) اللذين سجّلنا فيهما سابقا عصبونات مرآتية.

لقد أوحت هذه النتائج المشجِّعة بوجود آلية مرآتية تعمل في دماغ الإنسان كذلك ولكنها لم تتكشّف تماما. فإذا كانت العصبونات المرآتية تسمح بفهم فعل ما مشاهد من خلال اختباره على سبيل المثال، فإننا نتساءل إلى أي مدى يشكّل الهدف النهائي لهذا الفعل أحد مكوّنات ذلك «الفهم» أيضا.

عن قصد[1]

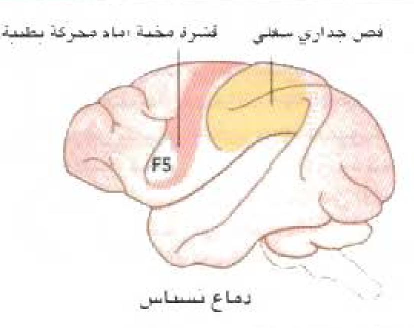
بالعودة إلى مثالنا حول «جمال» و«مريم»، فقد قلنا إن «جمال» يعرف أن «مريم» تقطف الزهرة وأنها كذلك تعتزم إعطاءها له؛ ذلك أن ابتسامتها أعطته **دالة قرينيّة** contextual clue عن عزمها في هذا الموقف. فمعرفة «جمال» بهدف «مريم» جوهريٌّ لفهمه فعلتها، لأن إعطاءه الزهرة يشكّل تتمّة للحركات التي تؤلّف عملها هذا.

عندما نؤدي نحن أنفسنا إيماءة كهذه،

(1) On Purpose

الحقيقة منعكسة(*)

في تجاربهم على النسانيس، اكتشف مؤلفو هذه المقالة مجموعات جزئية من العصبونات في باحات محركة دماغية (*في اليسار*) يبدو أن تنشيطها يمثل أفعالا بذاتها. فاضطرام firing هذه «العصبونات المرآتية» يمكنه أن يولد لدى فرد ما استعرافا داخليًا بفعل يفعله فرد آخر. واستجابة هذه العصبونات قد تعكس كذلك فهم مقصد الحركة، فقد استنتج هؤلاء المؤلفون أن فهم الفعل هو مقصد أساسي لهذه الآلية المرآتية. وقد شوهد اشتراك هذه العصبونات المرآتية في فهم المقصد النهائي للفاعل في استجابات تلك العصبونات، التي ميّزت بين أفعال قبض grasping actions متطابقة يجري أداؤها لمقاصد مختلفة.



دماغ نسناس

فَهْم الفعل

في اختبارات مبكرة، تنشّط إلى حد كبير عصبونٌ في الباحة أمام المحركة F5 المرتبطة بحركات الفم واليد، وذلك حينما قبض النسناس على حبة زبيب موضوعة على صفيحة (*1*). وقد استجاب العصبون نفسه بشدة حينما التقط المجرِّب حبة الزبيب أثناء مشاهدة النسناس له (*2*).

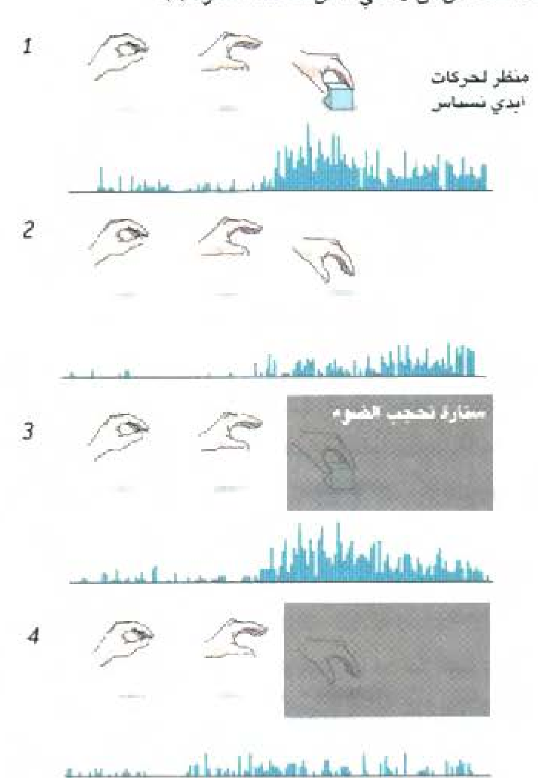
1 2

شدة التنشيط

استجابات عصبونات مرآتية في نسناس

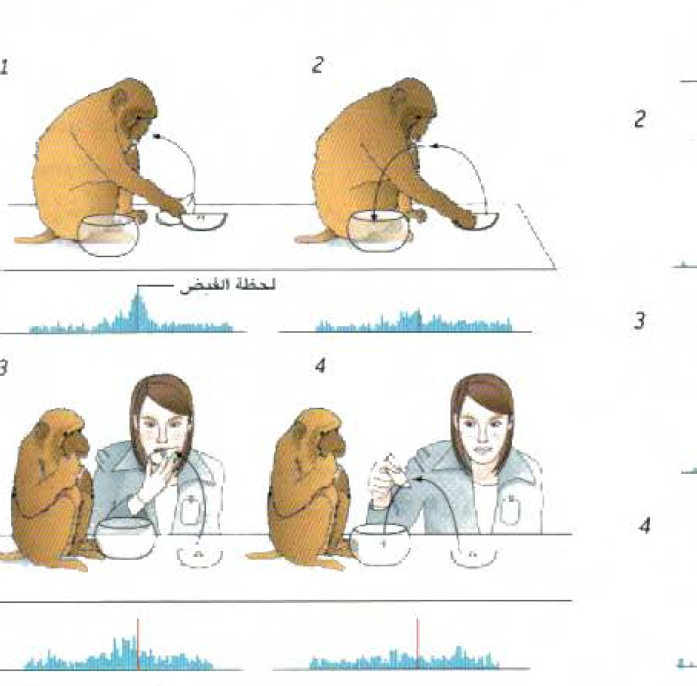
هدف تمييزي(1)

لقد اضطرم بشدة عصبون مرآتي في الباحة F5 حينما شاهد النسناس يد المجرِّب وهي تتحرك لالتقاط شيء ما (*1*) ولكن ليس حينما تحركت اليد من دون شيء كهدف لها (*2*). هذا وقد استجاب العصبون نفسه لفعل هادف (موجَّه المقصد) حين عرف أن شيئا ما كان خلف ستارة معتمة، مع أن الحيوان لم يكن يستطيع رؤية إتمام الفعل (*3*). وقد استجاب العصبون بشكل ضعيف حينما عرف النسناس أن لا شيء كان خلف الستارة (*4*).



تحديد المقصد(2)

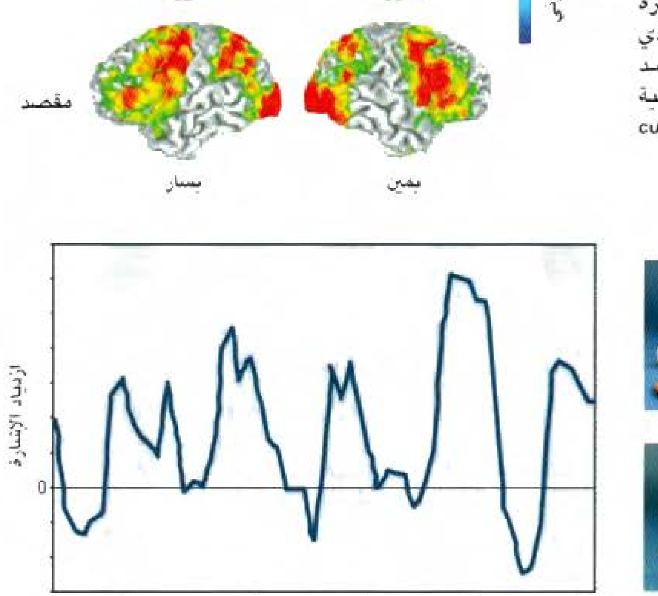
في الفص الجداري السفلي من الدماغ تبدي القراءات المأخوذة من عصبون واحد اضطراما شديدا حين أمسك النسناس قطعة فاكهة ليضعها في فمه (*1*). وكانت استجابة هذا العصبون أضعف قدرا حينما أمسك النسناس تلك القطعة ليضعها في وعاء (*2*). وكذلك استجاب نفس العصبون المرآتي بشدة حينما شاهد النسناس يد المجرِّب تؤدي إيماءة الالتقاط من أجل الأكل (*3*)، في حين استجاب بشكل ضعيف لفعل الالتقاط لوضع القطعة في الوعاء (*4*). وفي جميع هذه الحالات، كانت الاستجابات ترافق فعل القبض، مما يشير إلى أن التنشيط الأولي للعصبون قد كوّد encoded فهما للمقصد النهائي.



(*) Reality Reflected
(1) discriminating goal
(2) discerning intension

مقصد القبض(*)

إن فهم مقاصد الآخرين أمر أساسي للسلوك الاجتماعي البشري ويبدو أن عصبونات مرآتية بشرية تمنح هذه القدرة في تجربة جرى تصميمها لاختبار استعراف recognition مقاصد هذه التجربة. فقد جرى عرض كليبات (لقطات) clips ڤيديو على متطوعين (في الأسفل يمينا) تصور فعلين للإمساك بالكوب متماثلين من دون مضمون، ومضمونين من دون فعل، وتشكيلة من الأفعال والمضمون تشير إلى مقصد الفعل وتتمثل في: إعداد لشرب شاي ما بعد الظهر أوحى بأن الكوب يجري مسكه لغرض الشرب، أو أن الشاي قد فرغ وأصبح الكوب معدا لتنظيفه. لقد ازداد بشدة تنشيط مجموعات عصبونات مرآتية في باحات مخية قشرية أمام محركة في كل من نصفي الكرة المخية لأدمغة مفحوصين (يسارا)، وذلك استجابة لمشاهد الفعل ذي المقصد الواضح. وكذلك ميزت العصبونات المرآتية بين المقاصد الممكنة، بحيث استجابت بمقدار أشد للوظيفة البيولوجية الأساسية المتمثلة في الشرب منها للفعل المكتسب ثقافيا culturally acquired المتمثل في التنظيف (في الأسفل يسارا).



فعل | مضمون (قرينة) | مقصد

قبل الشاي | الشرب

بعد الشاي | التنظيف

فإننا في الحقيقة نؤدي سلسلة أفعال محركة مترابطة يحدد تسلسلها قصدنا. بمعنى أن إحدى سلاسل هذه الحركات تقطف الزهرة وتجلبها نحو أنف شخص ما من أجل أن يشمها، ولكن ثمة مجموعة مغايرة جزئيا من هذه الحركات تقطف الزهرة وتناولها إلى شخص آخر. ولذلك شرعت مجموعتنا البحثية في استكشاف ما إذا كانت العصبونات المرآتية تهيئ فهما للمقصود عن طريق التمييز بين الأفعال المتشابهة ذات الأهداف المختلفة.

ولهذا الغرض عدنا إلى نسانيسنا لتسجيل عصبوناتها **الجدارية** parietal تحت شروط متباينة. ففي مجموعة من هذه التجارب كان المطلوب من النسناس إمساك قطعة طعام وجلبها إلى فمه. وفي مرحلة ثانية توصلنا إلى أن يمسك النسناس القطعة ذاتها ويضعها داخل وعاء. ومن الممتع أننا وجدنا أن معظم العصبونات التي سجلناها انفرغت بشكل مختلف أثناء جزء من فعلة النسناس وذلك حسب الهدف النهائي للنسناس. وقد أوضح هذا الدليل أن المنظومة المحركة تنتظم في سلاسل عصبونية يكوّد كل منها قصدا نوعيا بعينه من الفعل. وبعد ذلك تساءلنا إذا ما كانت هذه الآلية تفسر كيف نفهم مقاصد الآخرين.

لقد اختبرنا عصبونات الإمساك ذاتها لمعرفة خواصها المرآتية عن طريق جعل النسناس يشاهد المجرب وهو يؤدي المهام الذي أداها النسناس نفسه سابقا [انظر *الإطار في الصفحة 51*]. ففي كل مثال تنشطت العصبونات المرآتية بشكل مختلف، وذلك حسب كون المجرب جلب الطعام إلى فمه أم أنه وضعه في الوعاء. وقد توافقت نماذج الاضطرام في دماغ النسناس تماما مع تلك التي شاهدناها حين أدى النسناس نفسه هذين الفعلين ـ فالعصبونات المرآتية التي انفرغت بقوة أكبر أثناء الإمساك لغرض الأكل (وليس لغرض الوضع في الوعاء) قد فعلت الشيء نفسه حينما شاهد النسناس المجرب وهو يؤدي الفعل الموافق لذلك.

وهكذا يبدو وجود صلة وثيقة بين **التعضي** organization المحرك للأفعال القصدية وبين القدرة على فهم مقاصد الآخرين. عندما شاهدت النسانيس فعلة ما في سياق معين، فبمجرد رؤيتها المكون الأول من الحركة الكاملة لعملية الإمساك، تنشطت لديها عصبونات مرآتية وشكلت سلسلة محركة كودت كذلك مقصدا نوعيا. أما معرفة أي سلسلة هي التي تنشطت لدى رؤية النسانيس بداية الفعل فإن ذلك يعتمد على

(*) Grasping Intection

تشكيلة منوّعة من العوامل، مثل طبيعة الشيء الذي يُفعَل فيه من جهة وسياق وذاكرة ما كان العنصر المشاهد يفعله من قبل من جهة أخرى.

ولرؤية ما إذا كان ثمة آلية مشابهة لقراءة المقاصد موجودة لدى البشر، ألّفنا فريقا لإجراء تجارب تصوير رنيني (تجاوبي) مغنطيسي وظيفي (fMRI) على متطوعين. وكان يعرض على المشاركين في هذه الاختبارات ثلاث مجموعات من المنبهات تحتوي عليها **كليبات ڤيديو** video clips. المجموعة الأولى كانت تضمّ صورا تعرض يدا تقبض على كوب وراءه خلفية فارغة. أما المجموعة الثانية فكانت تضمُّ مشهدين يحتويان على أشياء (مثل صحون وسكاكين) مرتّبة في أحدهما وكأنها جاهزة كي يستخدمها أحد ما في فترة شاي ما بعد الظهر، في حين أنها مرتّبة في المشهد الثاني وكأنها متروكة عقب أكلة سناك سابقة وأصبحت جاهزة للتنظيف. وأما المجموعة المنبّهة الثالثة فكانت تعرض يدا تقبض على كوب مأخوذ من واحد من ذلك السياقين.

لقد أردنا أن نقرر ما إذا كانت العصبونات المرآتية البشرية تميِّز بين مسك كوب من أجل الشرب (كالكوب الذي في مشهد الجاهزية للشاي) وبين انتزاع الكوب لتنحيته جانبا من أجل التنظيف (على شاكلة الفنجان المقترح في مشهد مجموعة التنظيف). ولم تبيِّن نتائجنا أن ذلك يحصل بالفعل فحسب، بل بيّنت كذلك أن منظومة العصبونات المرآتية استجابت بقوة **للمكون القصْدي** intention component في الفعل. فأفراد الاختبار الذين يشاهدون الأفعال المحرِّكة لليد في مشهد «الشرب أو في مشهد التنظيف» أظهروا تنشيطا متغايرا لمنظومتي العصبونات المرآتية لديهما، وكان النشاط العصبوني المرآتي أقوى في كلا هذين الموقفين منه حينما شاهد المفحوصون اليد وهي قابضة على كوب من دون أي مشهد يحفُّل به أو حينما يكتفون بالنظر إلى مكان هذه الأدوات فقط [*انظر الإطار في الصفحة المقابلة*].

وباعتبار أن البشر والنسانيس أنواع حية اجتماعية، فإنه ليس صعبا رؤية الميزة المحتملة **للبقيا** survival وراء آلية مبنية على العصبونات المرآتية تستقطب الأفعال المحركة في شبكة محرِّكة أكبر وذات دلالة تسمح بفهم مباشر وفوري لسلوك الآخرين من دون آلية معرفية معقدة. ولكن في الحياة الاجتماعية يكون فهم **انفعالات** emotions الآخرين على الدرجة نفسها من الأهمية. وبالفعل غالبا ما يكون الانفعال **عنصرا قرينيا** contextual رئيسيا يعرب عن المُراد من فعل ما. وهذا هو السبب في أننا، ومجموعات بحثية أخرى، كنا نستكشف كذلك ما إذا كانت المنظومة المرآتية تسمح لنا أن نفهم ما يشعره الآخرون إلى جانب فهمنا لما يفعلون.

حينما يستخدم الناس التعبير «إنني أشعر بألمكَ»، فإنهم قد لا يدركون بحق مدى صدق قولهم هذا.

اربط وتعلَّم[*]

وكما هي الحال مع الأفعال، فإن البشر بلا شك يفهمون الانفعالات بأكثر من طريقة؛ ذلك أن مشاهدة شخص آخر يمر بانفعال يمكن أن تقدح إضافة معرفية لتلك المعلومة، الأمر الذي يسبب في نهاية المطاف استنتاجا منطقيا حول ما يشعر به الشخص الآخر. ولكن يمكن أن يسبب ذلك أيضا رسما مباشرا لخريطة تلك المعلومة الحسّية على البنى المحرِّكة التي سوف تولِّد خبرة ذلك الانفعال لدى المشاهد. ونشير إلى أن هاتين الوسيلتين في تعرُّف الانفعالات تختلفان جدّاً إحداهما عن الأخرى: ففي الأولى، يستدل المشاهد على الانفعال ولكنه لا يستشعره، وفي الثانية يحتل التعرُّف المقام الأول لأن الآلية المرآتية تثير الحالة الانفعالية نفسها لدى المشاهد. وهكذا، حينما يستخدم الناس التعبير «إنني أشعر بألمك» للإشارة إلى الفهم **والتعاطف** empathy كليهما، فإنهم قد لا يدركون بصورة صحيحة صدق قولهم هذا.

يمثل انفعال الاشمئزاز مثالا نموذجيا، وهو استجابة أساسية يكون التعبير عنها ذا قيمة مهمة للبُقيا بالنسبة إلى الأقران في **النوع الحي** species. ويشير الاشمئزاز في أكثر أشكاله بدائية إلى أن شيئا ما يتذوّقه أو يشمّه الفرد هو سيئ، ويحتمل جدا أن يكون خطيرا. وباستخدام التصوير fMRI مجددًا، تعاونا مع علماء أعصاب فرنسيين لإظهار أن الشعور بالاشمئزاز إثر استنشاق روائح فاسدة ومشاهدة الاشمئزاز على وجه شخص آخر ينشّطان البنية العصبية نفسها التي تحمل اسم «**الجزيرة الأمامية**» anterior insula الواقعة في بعض المواقع ذاتها داخل تلك البنية [*انظر الإطار في الصفحة 54*]. وتشير هذه النتائج إلى أن جماعات من العصبونات المرآتية في الجزيرة الأمامية تلك تصبح ناشطة حينما يستشعر المشاركون في الاختبار هذا الانفعال وكذلك حينما يرونه لدى آخرين وهم يعبِّرون عنه. وبكلمات أخرى، فإن المشاهِد والمُشاهَد كليهما يتشاركان في آلية عصبية تتيح شكلا من **الفهم الخبروي المباشر** direct experiential understanding.

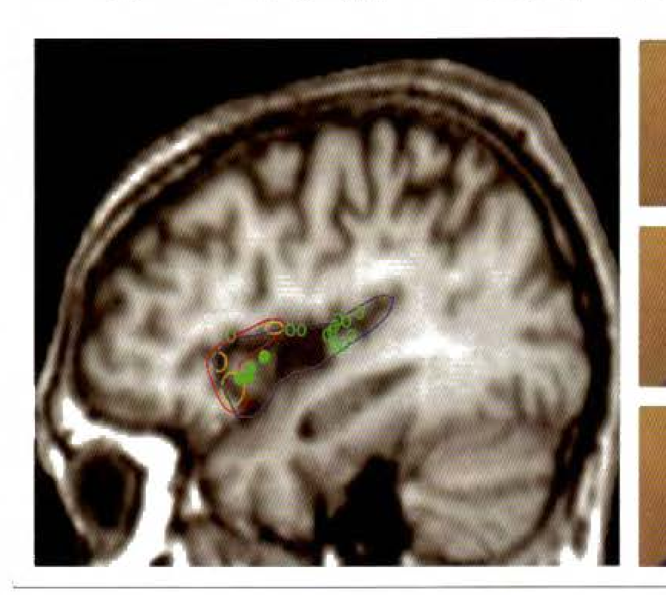
لقد وجدت «T. سنگر» [وزملاؤها في جامعة لندن] توافقات مشابهة بين انفعالات **مُسْتَشْعرة** experienced وأخرى مُشاهَدة في سياق الألم. ففي تلك التجربة شعر المشاركون بألم تولِّده إلكترودات وُضعت على أيديهم، ومن ثم شاهدوا إلكترودات وضعت على يد شريك لهم في الاختبار يعقبها إلماع لتنبيه مؤلم. فكلا الموقفين نشّطا المناطق ذاتها من الجزيرة الأمامية **والقشرة الحزامية الأمامية** anterior cingulated cortex لدى المفحوصين.

وإذا ما أخذنا في الاعتبار هذه البيانات

(*) Connect and Learn

مرايا انفعالية(*)

لقد نشّط الشعور بالاشمئزاز أجزاء متشابهة من الدماغ حين استشعر متطوعون ذلك الانفعال أثناء قيامهم بشمّ رائحة تبعث على الاشمئزاز أو حين شاهد هؤلاء المتطوعون لقطة كليب فيديو (يمينا) لشخص مشمئز آخر. وفي هذا المقطع العرضي للدماغ، تنشّطت مجموعات عصبونية عن طريق تقمُّص الاشمئزاز، وهي تتحدد هنا باللون الأحمر، في حين يطوّق اللون الأصفر المجموعات العصبونية التي تنشّطت برؤية الاشمئزاز (من دون تقمُّصه). [أما اللون الأزرق فإنه يحدّد منطقة الدراسة، في حين يشير اللون الأخضر إلى مناطق سبقت دراستها]. إن هذه المجموعات العصبونية المتراكبة يمكن أن تمثل آلية عصبية فيزيائية لتعاطف بشري يسمح بفهم انفعالات الآخرين.



جميعها. فإنها توحي بقوة بأن البشر يمكن أن يُلِمّوا بالانفعالات، أو على الأقل، بالانفعالات السلبية القوية، وذلك عبر آلية تحديد مباشرة تتضمّن أجزاء من الدماغ تولِّد استجابات محرِّكة **حشوية** visceral. وبالطبع، لا تستطيع مثل هذه الآلية المرآتية لفهم الانفعالات أن تفسِّر بشكل تام الاستعراف الاجتماعي(1) جميعه، ولكنها للمرة الأولى تهيئ فعلا أساسا عصبيًّا وظيفيًّا لبعض من العلاقات بين الأشخاص تُبنى عليها سلوكيّات اجتماعية أكثر تعقيدا. إنها يمكن أن تشكِّل **ركيزة** substrate تسمح لنا بالتعاطف مع الآخرين على سبيل المثال. ويمكن كذلك أن يتسبّب الخلل الوظيفي في هذه المنظومة المرآتية بعيوب في التعاطف على غرار ما يشاهد لدى أطفال مصابين بالتوحُّد (الذاتوية) [انظر: «*مرايا متكسرة*»، في هذا العدد].

يواصل العديد من المختبرات، ومن ضمنها مختبرنا الخاص، استكشاف هذه المسائل لأهميتها الفطرية الموروثة ولتطبيقاتها العلاجية المحتملة. فإذا تم في الدماغ، بوساطة الحبرة على سبيل المثال، نقش جزئي **للمرصاف** template العصبي المرآتي لفعل محرك، سيكون بالإمكان من الناحية النظرية تخفيف أعطال محرِّكة، مثل تلك التي تحدث عقب **سكتة** stroke، وذلك عن طريق تدعيم وتقوية **مراصف فعل** action templates غير متضرِّرة. وفي الحقيقة، تشير الأدلة الحديثة إلى أن الآلية المرآتية تؤدي دورا في الطريقة التي نتعلّم بها بشكل أوّلي مهارات جديدة.

ومع أن كلمة «قرد» ape كثيرا ما تستخدم لتدل على **التقليد** mimicry، فإن التقليد لا يشكّل خصيصا مقدرة متطورة بين الرئيسات غير البشرية. إنه نادرٌ لدى النسانيس ومحدود لدى القردة الكبيرة، بما في ذلك الشمبانزات والغوريلات. وعلى النقيض من ذلك، فإننا نجده (أي التقليد) وسيلة مهمة لدى البشر نستطيع عبره تعلّم المهارات واللغة واكتساب الثقافة ونقلها إلى الآخرين. فهل يتأسّس تقدُّمنا هذا فوق أقربائنا من الرئيسات على هذه الركيزة العصبية للمنظومة العصبونية المرآتية؟ لقد قدّم «إيكوبوني» ومجموعته أول دليل على أن ذلك يمكن أن يكون هو الحال حينما استخدموا التصوير fMRI لدراسة مفحوصين من البشر كانوا يشاهدون ويقلّدون حركات إصبع. فكلتا الحالتين (المشاهدة والتقليد) قاما بقدح الـ IFG، التي تشكّل جزءا من المنظومة العصبونية المرآتية، ولاسيما حين اتصفت الحركة بهدف محدّد.

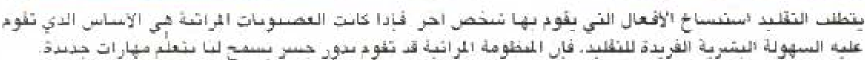
ولكن في جميع هذه التجارب كانت الحركات التي يراد تقليدها حركات بسيطة وكثيرة الشيوع. وهنا نتساءل: أي دور يمكن أن تؤديه العصبونات المرآتية حين يكون علينا أن نتعلّم أفعالا جديدة تماما ومعقّدة عن طريق التقليد؟ لقد استخدم «G. كوكيتو» [ومعاونوه في جامعتنا بألمانيا] للإجابة عن هذا السؤال مؤخرا التقنية fMRI في دراسة مشتركين يقلّدون حركات أوتار كيتار بعد رؤيتهم عازفا يضرب على هذه الأوتار. لقد تنشّطت المنظومات العصبونية المرآتية الجَبْهيّة الجدارية لدى المفحوصين في هذا الاختبار أثناء مشاهدتهم ذلك العازف وهو يعزف. والجدير بالذكر أن المنطقة ذاتها تنشّطت بقوة أكبر أثناء تقليد المفحوصين لحركات الأوتار. ومما يلفت النظر ظهور النشاط في منطقة دماغية إضافية أثناء الفترة التي تلي المشاهدة حين يبرمج المشتركون تقليدهم الخاص لحركات أوتار الكيتار. وتعرف هذه المنطقة باسم الباحة 46 **أمام الجبهية** prefrontal. ومن المعهود أنها ترافق **التخطيط المحرِّك** motor planning والذاكرة العاملة. ويمكن لذلك أن يؤدي دورا مركزيًّا في التجميع الناجح للأفعال المحرِّكة الأولية التي تؤلّف الفعل الذي يوشك المفحوص أن يقلّده.

ثمّة العديد من النواحي طالما أربكت علماء الأعصاب، ومن بينها المسألة الأساسية حول الكيفيّة التي يتلقّى بها دماغ الفرد المعلومات الإبصارية ويترجمها

(*) Emotional Mirrors

(1) social cognition




يتطلب التقليد استنساخ الأفعال التي يقوم بها شخص آخر. فإذا كانت العصبونات المرآتية هي الأساس الذي تقوم عليه السهولة البشرية الفريدة للتقليد، فإن المنظومة المرآتية قد تقوم بدور جسر يسمح لنا بتعلّم مهارات جديدة.

من أجل استنساخها في تعبيرات محركة. فإذا كانت المنظومة العصبونية المرآتية تصلح كجسر في هذه العملية، فإنها إضافة إلى قيامها بتوفير فهم لأفعال الناس ومقاصدهم وانفعالاتهم، ربما تكون قد تطوّرت لتصبح مكوّنا مهمّا في مقدرة الإنسان على تعلّم مهارات معرفيّة معقّدة مبنية على المشاهدة.

ولا يعرف العلماء حتى الآن ما إذا كانت المنظومة العصبونية المرآتية تقتصر على الرئيسات أو أنها موجودة أيضا لدى حيوانات أخرى. وتقوم مجموعتنا البحثية حاليّا باختبارات على الجرذان لرؤية ما إذا كان هذا الحيوان يبدي أيضا استجابات عصبونية مرآتية. وقد تكون مثل هذه المرآتية الداخلية خاصية نشأت لاحقا في التطوّر، الأمر الذي يمكن أن يفسّر سبب كونها أكثر شمولا لدى البشر منها لدى النسانيس. ولكن لما كان الإنسان الوليد وكذلك صغار النسانيس، يستطيعون تقليد إيماءات بسيطة مثل مدّ اللسان، فإن المقدرة على تكوين طبعات مرآتية للأفعال المشاهدة قد تكون خاصيّة فطرية. ونظرا لكون الافتقار للمرآتية **الانفعالية** emotional mirroring سمة مميزة لعلّة التوحُّد (الذاتوية)، فإننا نعمل حاليا على أطفال توحديين لمعرفة ما إذا كانت لديهم نقائص محرّكة ملموسة يمكن أن تكون علامة على خلل وظيفي عام في المنظومة العصبونية المرآتية.

لقد مضى فقط عقد واحد من السنين على اكتشافاتنا الأولى حول العصبونات المرآتية، وأمامنا العديد من الأسئلة بحاجة إلى أجوبة، بما في ذلك الدور الممكن للمنظومة المرآتية في موضوع اللغة التي تُعدُّ واحدة من أكثر المهارات المعرفية تعقيدا في الحياة البشرية. فالمنظومة العصبونية المرآتية البشرية تضم **باحة بروكا** Broca's area التي هي مركزٌ مخيٌّ قشريٌّ يتعلق باللغة. فإذا كان التخاطب البشري، حسبما يعتقد بعض علماء اللغة، قد بدأ أولا بإيماءات وجهية ويدوية، فإن العصبونات المرآتية عندئذ ربما تكون قد أدت دورا مهمًا في نشوء اللغة. وفي الحقيقة، تقدّم هذه الآلية المرآتية حلاً لشكلتين جوهريتين في التخاطب العقلي وهما **التعادل** parity والفهم المباشر. فالتعادل يستلزم أن المعنى ضمن الرسالة هو نفسه لدى المرسل ولدى المتلقّي على السواء. والفهم المباشر يعني عدم ضرورة وجود اتفاق مسبق بين الأفراد (على رموز لا على التعيين على سبيل المثال) من أجل أن يفهم أحدهم الآخر. إذ إن **الوفاق** accord هو عنصر موروث في التنظيم (التعضّي) العصبي لدى كلا الشخصين. وهكذا يمكن أن يكون ما سمح لـ«جمال» و«مريم» الاتصال فيما بينهما من دون كلمات، وما يسمح لأفراد البشر عموما بالتخاطب في عدة مستويات، هو المرايا الداخلية التي أشرنا إليها ■

المؤلفون

Glacomo Rizzolatti - Leonardo Fogassi - vittorio Gallese

يعملون معا في جامعة بارما بإيطاليا، حيث يشغل «ريزولاتي» منصب رئيس قسم العلوم العصبية و«فوكاسي» و«كاليسي» هما أستاذان مشاركان في هذا القسم. وقد كشفت دراساتهم في أوائل تسعينات القرن الماضي للمنظومات المحرّكة في أدمغة النسانيس والبشر وجود عصبونات ذات خواص مرآتية. ومنذ ذلك الوقت واصلوا تحرّي تلك العصبونات المرآتية لدى البشر والنسانيس، كما تحرّوا دور المنظومة المحرّكة في **المعرفة** cognitive العامة. وكثيرا ما تعاونوا مع مجموعات بحثية أخرى في أوروبا والولايات المتحدة تدرس حاليا **وسعة** breadth ووظائف المنظومة العصبونية المرآتية لدى البشر والحيوانات.

مراجع للاستزادة

Action Recognition in the Premotor Cortex. Vittorio Gallese, Luciano Fadiga, Leonardo Fogassi and Giacomo Rizzolatti in *Brain*, Vol. 119, No. 2, pages 593–609; April 1996.

A Unifying View of the Basis of Social Cognition. V. Gallese, C. Keysers and G. Rizzolatti in *Trends in Cognitive Sciences*, Vol. 8, pages 396–403; 2004.

Grasping the Intentions of Others with One's Own Mirror Neuron System. Marco Iacoboni et al. in *PLoS Biology*, Vol. 3, Issue 3, pages 529–535; March 2005.

Parietal Lobe: From Action Organization to Intention Understanding. Leonardo Fogassi et al. in *Science*, Vol. 302, pages 662–667; April 29, 2005.

Scientific American, November 2006



مرايا متكسِّرة: نظرية في التوحد (الذاتوية)(*)

يمكن لدراسات منظومة العصبونات المرآتية(1) أن تقدم دالات على أسباب التوحد، وأن تساعد الباحثين على تطوير طرق جديدة لتشخيص هذا الاضطراب ومعالجته.

«V. S. راماشاندران» ـ «M. L. أوبرمان»

للوهلة الأولى قد لا تلاحظ أي أمر غريب حين لقائك صبيا صغيرا مصابا بالتوحّد (الذاتوية). ولكن إذا حاولت محادثته، سرعان ما يتضح لك أن لديه مشكلة خطيرة حقا. فقد لا يتواصل معك بالنظر، بل يتحاشى نظرتك المحدقة مُظهرا بعصبية تململه، أو يهز جسمه إلى الأمام والخلف، أو يضرب رأسه بالحائط. ومما يثير القلق والحيرة أنه لا يبدي أية قدرة على مواصلة ما يمكن أن يشبه ـ ولو من بعيد ـ المحادثة السوية. وعلى الرغم من معاناته انفعالات الخوف والغضب والسرور وغيرها، فقد يعوزه **تفهم أحاسيس الآخرين** (**التشاعر** empathy)، ويبدو غير واع للتلميحات الاجتماعية المصقولة التي يفهمها بلا عناء معظم الأطفال.

وفي أربعينات القرن العشرين اكتشف «L. كانر» [طبيب الأمراض النفسية الأمريكي] و«H. أسبرجر» [طبيب الأطفال النمسوي] ـ كل منهما على انفراد ـ اضطراب النمو هذا الذي يصيب نحو 0.5 في المئة من الأطفال الأمريكيين. ولم يكن لدى أي من هذين الطبيبين علم بعمل الآخر. ومع ذلك، حدثت مصادفة غريبة، إذ سمى كل منهما هذه المتلازمة بالاسم نفسه وهو: **التوحد (الذاتوية)** autism، المشتق من الكلمة اليونانية autos وتعني «**الذات**» self. وهذا الاسم مناسب جدا، لأن السِّمة الأشد وضوحا في هذا الاضطراب هي الابتعاد عن التفاعل الاجتماعي. ومنذ عهد غير بعيد تبنى الأطباء مصطلح «اضطراب طيف التوحد»(2) ليوضحوا أن هذا المرض مرتبط **بمتغايرات** variants عديدة متفاوتة في شدتها، غير أنها تشترك في بعض الأعراض المميزة.

ومنذ أن تم استعراف(3) التوحد، بدأ الباحثون بالعمل جاهدين لتحديد أسبابه. ويعرف العلماء أن الاستعداد للتوحد موروث، مع أن عوامل الخطورة البيئية تبدو ذات دور أيضا [انظر: «*الأصول المبكرة للذاتوية*»، **العلوم**، العددان 6/5 (2000)، ص 12]. وابتداء من أواخر تسعينات القرن العشرين شرع الباحثون في مختبرنا بجامعة كاليفورنيا في العمل على استكشاف ما إذا كان ثمة ترابط بين التوحد وبين صنف من الخلايا العصبية في الدماغ تدعى **العصبونات المرآتية** mirror neurons. فقد ظهر أن لهذه العصبونات علاقة بقدرات عدة، منها تفهم أحاسيس الآخرين وإدراك مقاصدهم. ولذا بدا من المنطقي افتراض وجود **خلل وظيفي** dysfunction في منظومة العصبونات المرآتية ربما نجمت عنه بعض أعراض التوحد. وأسهمت دراسات عديدة في البرهان على هذه النظرية على امتداد العقد الماضي. وقد تفسر الاستقصاءات اللاحقة للعصبونات المرآتية كيف ينشأ التوحد؛ كما قد يتوصل الأطباء في الوقت ذاته إلى طرائق أفضل لتشخيص هذا الاضطراب ومعالجته بنجاح.

تفسير الأعراض(***)

على الرغم من أن العلامات التشخيصية الأساسية للتوحد هي الانعزال الاجتماعي وانعدام التواصل بالنظر وضعف القدرة اللغوية وفقدان إدراك أحاسيس الآخرين، هناك أعراض أخرى معروفة بدرجة أقل ولكنها واضحة بصفة عامة. فالعديد من التوحديين يعانون مشكلات في فهم **التعابير المجازية** metaphors ويفسرونها حرفيا أحيانا. كما يلاقون صعوبات في تقليد أفعال الآخرين. وغالبا ما يظهرون استغراقا شاذا في أمور تافهة ويتجاهلون مظاهر مهمة في بيئتهم، وخاصة محيطهم الاجتماعي. ومن الأمور المحيرة كذلك ما هو مألوف من

نظرة إجمالية/ العصبونات المرآتية والتوحد (الذاتوية)(**)

- نظرا إلى ما يبدو من تدخل العصبونات المرآتية في التآثر الاجتماعي، فإن خلل وظائف منظومة العصبونات قد يفسر بعض الأعراض الأولية للتوحد، بما فيها الانعزال وفقدان إدراك أحاسيس الآخرين.
- تظهر الدراسات على الأفراد التوحديين فقدانا في نشاط العصبونات المرآتية في مناطق متعددة من الدماغ. ويأمل الباحثون أن تتمكن المعالجات المصممة لاستعادة هذا النشاط من تلطيف بعض أعراض التوحد.
- يمكن لفرضية متممة complementary، نظرية المنظر العام البارز، أن تعلل الأعراض الثانوية للتوحد، كفرط التحسس مثلا.

(*) BROKEN MIRRORS: A THEORY OF AUTISM
(**) Overview: Mirror Neurons and Autism
(***) Explaining the Symptoms
(1) mirror neuron system
(2) autism spectrum disorder
(3) identification



قد يجابه الأطفال التوحديون صراعا في التآثر الاجتماعي لأن منظومة العصبونات المرآتية لديهم لا تؤدي وظيفتها على النحو السليم

إبدائهم كرها شديدا جدا لبعض الأصوات التي تقرع - لسبب غير واضح - أجراس الخطر في عقولهم.

ومن الممكن تقسيم النظريات التي طُرحت لشرح التوحد إلى مجموعتين: تشريحية ونفسية (وقد استبعد الباحثون مجموعة ثالثة من النظريات - كنظرية «الأم الثلاجة»(1) التي تضع اللوم في هذا الاصطراب على سوء التربية). وبصورة أنيقة بيّن إ. كورشيسن [من جامعة كاليفورنيا في سان دييگو] وغيره من **المشرِّحين** anatomists، أن لدى الأطفال التوحديين شذوذات وصفية في **المُخيخ** cerebellum، وهو البنيان الدماغي المسؤول عن تنسيق الحركات المعقدة للعضلات الإرادية. ومع وجوب أخذ هذه الملاحظات في الاعتبار في أي تفسير نهائي للتوحد، فمازال من المبكر استنتاج أن تأذي المخيخ هو السبب الوحيد لهذا الاضطراب. ومن المألوف أن يؤدي تأذي المخيخ الناجم عن **سكتة** stroke عند الطفل إلى **رُعاش** tremors، وترنُّح في المشية، وحركات عينية غير سوية - وهي أعراض تندر مشاهدتها في حالات التوحد. وعلى النقيض من ذلك، لا ترى أية أعراض نمطية للتوحد بين المصابين بمرض في المخيخ. ومن المحتمل أن تكون التغيرات المخيخية الملاحظة في الأطفال التوحديين آثارا جانبية غير مترابطة لجينات شاذة تؤلف تأثيراتها الأخرى الأسباب الحقيقية للتوحد.

(1) refrigerator mother

ولربما كانت أبدع النظريات النفسية هي تلك التي طرحتها <U. فريث> [من المعهد الجامعي في لندن] و<S. بارون-كوهين> [من جامعة كمبردج] ويفترضان فيها أن الشذوذ الأساسي في التوحد كامن في **عجز** deficit في القدرة على إنشاء نظرية عقول أخرى. ويرى هذان الباحثان أن الدارات العصبية المتخصصة في الدماغ تسمح بتكوين فرضيات معقدة لما يجري داخل عقول الآخرين من الناس. وتتيح هذه الفرضيات بدورها فرصة لطرح تنبؤات مفيدة عن سلوك أولئك الناس. ومن الواضح أن هذين الباحثين سائران على الطريق الصحيح، إلا أن نظريتهما لا تقدم تفسيرا كاملا لمجموعة أعراض للتوحد تبدو غير مترابطة. وفي الواقع، إن القول إن التوحديين غير قادرين على التآثر الاجتماعي لافتقارهم إلى «نظرية عقول أخرى»[1] قول لا يمكنه أن يتجاوز كثيرا حدود ذكر الأعراض. فما يحتاج الباحثون إلى استعرافه هو آليات الدماغ التي **تقابل** match وظائفُها المعروفة تلك الوظائفَ التي تتعطل في حالات التوحد.

يبدو أن العصبونات المرآتية تؤدي بدقة الوظائف نفسها التي تتعطل في التوحد.

وتأتي إحدى الدالآت من أبحاث <G. ريزولاتي> وزملائه [في جامعة پارما بإيطاليا]، التي تناولت في تسعينات القرن العشرين النشاط العصبي في أدمغة **قرود المكاك** macaque في حين كانت تلك الحيوانات تؤدي أفعالا موجهة الهدف [انظر: «*مرايا في العقل*»، في هذا العدد]. ويعرف الباحثون منذ عقود أن عصبونات معينة في **قشرة الدماغ أمام الحركية** premotor cortex - وهي جزء من الفص الجبهي للدماغ - تتدخل في توجيه الحركات الإرادية. وعلى سبيل المثال، يتفعَّل[2] أحد العصبونات حينما يحاول القرد الوصول إلى حبة فستق، كما يتفعّل عصبون آخر حينما يُشغّل القرد أداة. وهكذا، وغالبا ما يشار إلى هذه الخلايا الدماغية على أنها عصبونات الأوامر الحركية. (يجب ألا ننسى أن العصبون الذي جرى تسجيل نشاطه لا يتحكم وحده في حركة الذراع، بل إنه جزء من دارة يمكن مراقبتها بملاحظة الإشارات في العصبونات الأساسية.)

إن ما أدهش <ريزولاتي> وزملاءه هو أن مجموعة جزئية من عصبونات التحكم الحركي تفعّلت أيضا حينما شاهد القرد قردا آخر يؤدي العمل ذاته، أو لدى رؤية الباحث يؤديه. فمثلا، تفعّل عند القرد عصبون ذو علاقة في التحكم في فعل الوصول إلى حبة فستق حينما شاهد أحد أقرانه يؤدي الحركة ذاتها. وأظهرت تقنيات تصوير الدماغ فيما بعد أن العصبونات المرآتية موجودة أيضا في مناطق مماثلة من قشرة المخ في البشر. وتضمنت هذه الملاحظات أن العصبونات المرآتية - أو، بدقة أكبر، الشبكات التي تؤلف تلك العصبونات جزءا منها - لا تقف عند إرسال أوامر حركية فحسب، بل تحدد أيضا أهداف الأفراد الآخرين عن طريق محاكاة أفعالهم عقليا. وقد يكون دور العصبونات في القرود محدودا بالتنبؤ بأفعال موجهة نحو أهداف بسيطة. أما في البشر، فربما طورت منظومة العصبونات المرآتية القدرة على تفسير غايات أكثر تعقيدا.

وأظهرت أبحاث لاحقة أن العصبونات المرآتية موجودة في أقسام أخرى من الدماغ البشري، **كالحزام** cingulate **والقشرات الجزيرية** insular cortices، وأن بوسعها أداء دور في الاستجابات الانفعالية المتسمة بإدراك أحاسيس الآخرين. ووجد الباحثون أثناء دراستهم الباحة الحزامية الأمامية لدى المفحوصين اليقظين أن عصبونات معيّنة تتفعّل نمطيا استجابة للألم، قد تفعّلت أيضا حينما رأى الشخص شخصا آخر يتألم. ويمكن أن تتدخل العصبونات المرآتية كذلك في عملية **التقليد** imitation، وهي قدرة يظهر أنها موجودة على نحو بدائي لدى **القرود العليا** great apes، إلا أنها أشد وضوحا لدى البشر. ولا بد من أن النزوع إلى التقليد فطري على أقل تقدير: إذ بيَّن <A. ملتزوف> [من جامعة واشنطن] أنك إذا مددت لسانك أمام طفل حديث الولادة، فسيقوم الصغير بالفعل ذاته. ولما كان الطفل لا يستطيع رؤية لسانه، فهو يعجز عن الاعتماد على **الارتجاع**[3] **البصري** visual feedback وتصحيح الخطأ ليتعلم هذه المهارة. وعوضا عن ذلك، لا بد من توافر آلية فطرية في دماغ الطفل كي يطابق خريطة المظهر البصري لأمه - أكان ذلك مدَّ اللسان أو ابتسامة - على عصبونات إصدار الأوامر الحركية.

كما يتطلب تطور اللغة في الطفولة إعادة توضيع للخرائط بين **باحات الدماغ** brain areas. فلكي يقلد الطفل كلمات الأم أو الأب يتعين على دماغه تحويل الإشارات السمعية في مراكز السمع في فصوص الدماغ الصدغية إلى مُخرَجات لفظية من القشرة الحركية. ومع أن تدخل العصبونات المرآتية المباشر في هذه المهارة أمر غير معروف، فمن الواضح أن سيرورة مشابهة لا بد وأن تكون متواصلة. وأخيرا، قد تمكن العصبوناتُ المرآتية البشر من أن يروا أنفسهم كما يراهم الآخرون، وهي مقدرة ربما كانت أساسية لوعي الذات **والاستبطان**[4] introspection.

كبت الموجات Mu[*]

ما علاقة هذا كله بالتوحد؟ لقد أشار فريقنا من جامعة كاليفورنيا في سان دييگو في أواخر تسعينات القرن العشرين إلى ما يظهر من أن العصبونات المرآتية تؤدي بدقة الوظائف ذاتها التي يبدو أنها تتعطل في التوحد. فإن كانت منظومة العصبونات المرآتية تتدخل فعلا في ترجمة المقاصد المعقدة، إذًا إن انهيار هذه الدارة العصبية يمكنه أن يفسِّر أكثر مظاهر العجز عند التوحديين إثارة للانتباه، ألا هو فقدانهم المهارات الاجتماعية. كما أن العلامات

(*) Suppressing Mu Waves

(1) theory of other minds

(2) fire: يطلق شحنة، يصطرم.

(3) feedback: أو تغذية مرتدة أو تلقيم راجع.

(4) أو التأمل الباطني. (التحرير)

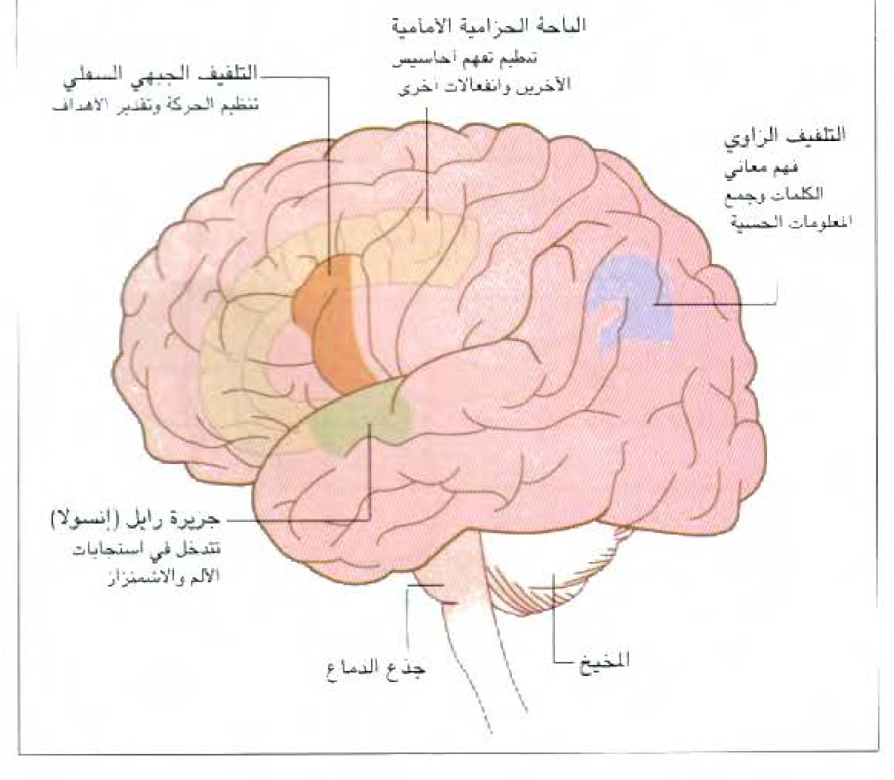
الأساسية الأخرى للتوحد – أي انعدام تفهم أحاسيس الآخرين والعجز اللغوي وضعف التقليد، وما إلى ذلك – أمور يمكن توقع رؤيتها في حال إصابة العصبونات المرآتية بخلل وظيفي. وقد جاء هذا الاقتراح من قبل فريق <A. ويتن> متزامنا تقريبا مع اقتراحنا. غير أن أول برهان تجريبي على هذه الفرضية صدر عن مختبرنا أثناء العمل المشترك مع <E. L. ألتشولر> و <J. A. بينيدا> [من جامعة كاليفورنيا في سان دييكو].

ولإقامة الدليل على وجود خلل في منظومة العصبونات المرآتية عند الأطفال التوحديين، برزت حاجتنا إلى إيجاد طريقة لمراقبة نشاط خلاياهم العصبية من دون وضع **مسارٍ[1] كهربائية** electrodes في أدمغتهم (وهذا ما فعله <ريزولاتي> وزملاؤه مع القرود). وتأكدنا أن بوسعنا فعل ذلك بالاعتماد على مخطط كهربائية الدماغ (EEG)[2] وقياس موجات أدمغة الأطفال. ومنذ ما يزيد على نصف قرن، عرف العلماء أن أحد مكوّنات مخطط كهربائية الدماغ المسمى الموجة mu **يتعرض لإحصار[3]** في أي وقت يقوم فيه الشخص بحركة عضلية إرادية، كبسط اليد أو إطباقها. ومما يستأثر بالاهتمام هو أن هذا المكوّن يتعرض للإحصار أيضا حينما يراقب الإنسان شخصا آخر يؤدي الفعل ذاته. فاقترح أحدنا (راما شاندران) ومعه <ألتشولر> أن كبت الموجة mu يمكنه أن يشكّل **مسبارا** probe بسيطا غير باضع[4] لمراقبة نشاط العصبونات المرآتية.

وقد قررنا أن نركّز تجاربنا الأولى على طفل توحدي لا يعاني أوجه ضعف **معرفية** cognitive حادة، وذلك لأننا أردنا أن نؤكد أن جميع الفروق التي وجدناها لم تكن ناجمة عن مشكلات في الانتباه، أو في فهم التعليمات، كما لم تكن تأثيرات عامة لتخلف عقلي. وقد أظهر مخطط كهربائية الدماغ (EEG) أن الموجة mu لدى الطفل كانت قابلة للملاحظة، وأنها كُبتت حينما أدى الطفل حركة إرادية بسيطة، الأمر الذي يحدث تماما لدى الأطفال الأسوياء. غير أن الكبت لم يحصل حينما راقب الطفل شخصا آخر يؤدي الفعل ذاته. وهذا جعلنا نستنتج أن جهاز التحكم الحركي عند الطفل كان

تشريح التوحد[*]

يظهر عند التوحديين نقص في نشاط العصبونات المرآتية في التلفيف الجبهي السفلي، وهو قسم من قشرة الدماغ أمام الحركية؛ وقد يفسر هذا عجز تلك العصبونات عن تقدير أهداف الآخرين. ويمكن أن تفضي أشكال الخلل الوظيفي في العصبونات المرآتية في **جزيرة رايل** insula وفي الباحة الحزامية الأمامية إلى أعراض، منها غياب تفهم أحاسيس الآخرين. وقد تنتج من عيوب التلفيف الزاوي صعوبات لغوية. كما أن لدى التوحديين تغيرات بنيوية أيضا في المخيخ وفي جذع الدماغ.



سليما، بيد أن منظومة العصبونات المرآتية كانت **معوزة[5]** deficient. وعرضنا هذه الملاحظة التي قدمت دعما هائلا لفرضيتنا، في الاجتماع السنوي لجمعية العلوم العصبية عام 2000.

ومع ذلك، يجب الحذر من التعميم انطلاقا من حالة مفردة. ولهذا أجرى فريق مختبرنا سلسلة من التجارب المنهجية على 10 أفراد يعانون اضطراب الطيف التوحدي ولا يعانون أوجه ضعف معرفية؛ كما خضع للتجارب 10 أفراد **شواهد** control من العمر والجنس نفسيهما. ورأينا ما توقعناه من كبت الموجات mu حينما حرك المفحوصون الشواهد أيديهم وشاهدوا صورا ڤيديوية ليد تتحرك. بيد أن مخططات كهربائية أدمغة الأطفال التوحديين الخاضعين للدراسة لم تُظهر كبت الموجة mu إلا حين حركوا أيديهم بالذات.

لقد أكّد باحثون آخرون نتائجنا مستخدمين تقنيات مختلفة لمراقبة النشاط العصبي. ووجد فريق <R. هاري> [من جامعة هلسنكي للتقانة] نقائص[6] في العصبونات المرآتية عند الأطفال الذاتويين، واعتمدوا في ذلك على تخطيط مغنطيسية الدماغ لقياس الحقول المغنطيسية نتيجة تيارات كهربائية في الدماغ. وحديثا أكثر استخدمت <M. دابريتو> وزملاؤها [من جامعة كاليفورنيا في لوس أنجلوس] التصوير الوظيفي بالرنين المغنطيسي[7] لإظهار النقص في نشاط العصبونات المرآتية في القشرات قبل الجبهية[8] لدى التوحديين. كما اعتمد <H. ثيوريه> والعاملون معه [من جامعة مونتريال] على **التنبيه المغنطيسي عبر**

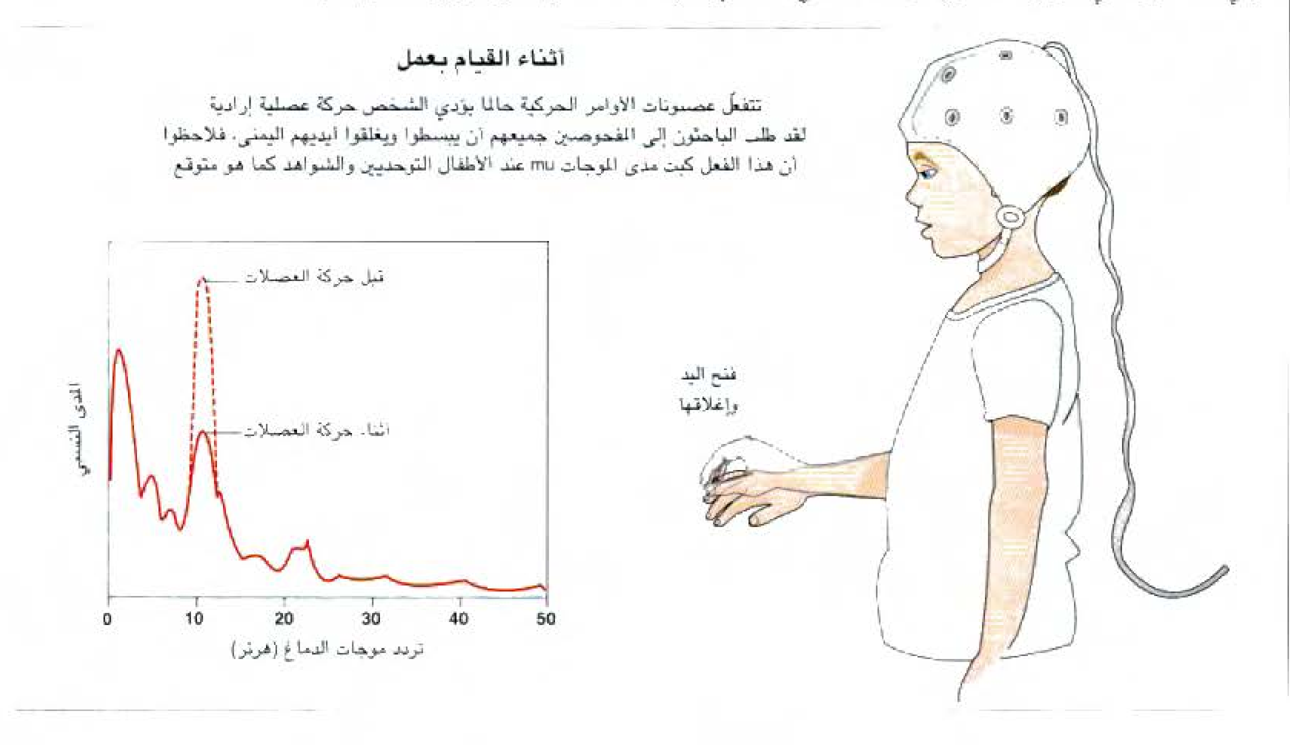
(*) The Anatomy of Autism
(1) ج: مسرى
(2) electroencephalogram
(3) blackage
(4) invasive
(5) أو قاصرة
(6) deficits
(7) functional magnetic resonance imaging
(8) prefrontal cortices

تركيز على الموجات mu[*]

لدراسة منظومة العصبونات المرآتية عند التوحديين، اعتمد الباحثون على ما لاحظوه من أن تفعُّل العصبونات في القشرة أمام الحركية يكبت الموجة mu وهي أحد المكونات في مقياس مخطط كهربائية نشاط الدماغ (EEG) [وتتفاوت مدى الموجات mu بين 8 و 13 هرتز] وراقب الباحثون الموجات mu عند أطفال توحديين وعند أطفال شواهد وذلك أثناء أدائهم حركات عضلية إرادية ومن ثم مشاهدتهم صورا ڤيديوية لأفعالهم ذاتها

أثناء القيام بعمل

تتفعَّل عصبونات الأوامر الحركية حالما يؤدي الشخص حركة عضلية إرادية
لقد طلب الباحثون إلى المفحوصين جميعهم أن يبسطوا ويغلقوا أيديهم اليمنى. فلاحظوا أن هذا الفعل كبت مدى الموجات mu عند الأطفال التوحديين والشواهد كما هو متوقع



أثناء محاكاة عمل

تتفعَّل أيضا العصبونات المرآتية في القشرة أمام الحركية حينما يلاحظ الشخص شخصا آخر يؤدي عملا
أخذ الباحثون مقاييس EEG لنشاط الدماغ فيما كان المفحوصون يراقبون صورا ڤيديوية ليد تفتح وتغلق
فلاحظوا أن الموجات mu هبطت عموديا [اللون الأحمر] عند المفحوصين الشواهد. في حين لم يُلاحظ أي كبت لدى التوحديين [اللون الأزرق] وتوحي هذه النتيجة أن منظومة العصبونات المرآتية عند التوحديين قاصرة.



(*) Focusing on MU Waves

القحفي transcranial ـ وهي تقنية تحرض تيارات كهربائية في قشرة المخ الحركية لتوليد حركات عضلية. وذلك من أجل دراسة نشاط العصبونات المرآتية لدى التوحديين الخاضعين للاختبار. وقد ظهرت حركات الأيدي المحرِّضة أشد وضوحا بين المفحوصين الشواهد حين رؤيتهم صورا ڤيديوية للحركات نفسها، بينما بدا الأثر أضعف كثيرا لدى المفحوصين التوحديين.

فإذا جُمعت هذه النتائج معا، فإنها تقدم دليلا قويا على أن لدى التوحديين منظومة عصبونات مرآتية ذات خلل وظيفي. ولا يعرف العلماء بعدُ عوامل الخطورة الوراثية والبيئية التي يمكنها أن تمنع تطور العصبونات المرآتية أو أن تغير وظيفتها. ولكن فرق أبحاث عديدة منهمكة الآن في تتبع هذه الفرضية التي تشير إلى أعراض فريدة للتوحد. إذًا، تفسّر عيوب منظومة العصبونات المرآتية العلامات الأساسية للتوحد. وإضافة إلى ذلك يمكنها أن تعلل أيضا بعض الأعراض غير المعروفة جيدا. فعلى سبيل المثال، عرف الباحثون منذ مدة طويلة أنه غالبا ما تكون لدى الأطفال التوحديين مشكلات في فهم الأمثال والألفاظ المجازية. فحينما قلنا لأحد مفحوصينا "Get a grip on youself"[1]، فهم الرسالة حرفيا وبدأ يمسك بجسمه ذاته. ومع أن هذه الصعوبة في فهم المصطلحات المجازية لوحظت لدى مجموعة جزئية من الأطفال التوحديين، فهي تستدعي التفسير.

يتطلب فهم التعبيرات المجازية القدرة على استخلاص مدلول عام من كيانات لا تشابُه بينها ظاهريا. وعلى سبيل المثال، لندخل في اعتبارنا تأثير اختبار بوبا/كيكي bouba/kiki، الذي اكتشفه عالم النفس الألماني الأمريكي «W. كوهلر» قبل ما يزيد على 60 عاما. ففي هذا الاختبار يعرض الباحث شكلين مرسومين على نحو غير متقن، أحدهما ذو حواف مسننة والآخر حوافه منحنيات، على مجموعة من المشاهدين ويسألهم «أي هذين الشكلين هو بوبا وأيهما كيكي؟» ومهما تكن لغة المجيبين، فإن 98 في المئة منهم سيختار الشكل المنحني على أنه بوبا، والشكل المسنن على أنه كيكي. وتوحي هذه النتيجة أن الدماغ البشري قادر على استخلاص خصائص تُستمد من الأشكال والأصوات ـ فمثلا، إن صفة التسنن متضمنة في كل من الرسم المستدق الرؤوس والصوت الأجش في كلمة كيكي. وقد خمّنا[2] أن هذا النمط من **المطابقة ما بين المجالات** cross-domain mapping مشابه لما يحدث في الألفاظ المجازية، ولابد أن يتضمن بالتأكيد عمل دارات عصبية تشبه دارات منظومة العصبونات المرآتية. ومما ينسجم مع هذا التخمين اكتشافنا أن الأطفال التوحديين هم سيئو الأداء في اختبار بوبا/كيكي، ويزاوجون بين الأشكال والأصوات على نحو غير صحيح.

ولكن أي جزء من دماغ الإنسان هو الذي يتدخل في هذه المهارة؟ لقد بدا من الأرجح أن **التلفيف الزاوي** angular gyrus الذي يقع عند ملتقى طرق مراكز الرؤية والسمع واللمس في الدماغ هو المرشح المحتمل، لا بسبب موقعه الاستراتيجي فحسب، بل لأن الخلايا العصبية ذات الخصائص الشبيهة بخصائص العصبونات المرآتية قد جرى استعرافها هناك. وحينما درسنا أشخاصا غير توحديين ولديهم تضرر في هذه الباحة الدماغية، وجدنا كثيرا منهم قد أخفق في اختبار بوبا/كيكي، وأن لديهم صعوبة تفوق ما يتناسب مع فهم التعبيرات المجازية، تماما كما هي الحال لدى التوحديين. وتوحي هذه النتائج أن المطابقة بين مجالات متعددة ربما تطورت أصولها لتساعد **الرئيسات** primates على المهمات الحركية المعقدة، كالتمسك بأغصان الأشجار (الذي يتطلب تمثلا سريعا للمعلومات البصرية والسمعية واللمسية). ولكن نشأت عنه في نهاية المطاف القدرة على إيجاد التعابير المجازية. لقد سمحت العصبونات المرآتية للبشر أن يحاولوا الوصول إلى النجوم عوضا عن الوصول إلى حبات الفستق فحسب.

هل يمكن إصلاح المرايا؟[*]

يتيح اكتشاف عيوب العصبونات المرآتية لدى التوحديين فرصة إيجاد طرائق جديدة لتشخيص التوحد ومعالجته. فمثلا بوسع الأطباء استخدام فقدان كبت الموجة mu (أو ربما الإخفاق في محاكاة أم تمد لسانها) كوسيلة تشخيصية لاستعراف الأطفال التوحديين في طفولتهم المبكرة كي يُبتدأ تطبيق المعالجات السلوكية المتاحة بأسرع ما يمكن. فالتدخل في الوقت المناسب أمر حاسم، ويضعف تأثير المعالجات السلوكية كثيرا إن شُرع بها بعد ظهور الأعراض الأساسية للتوحد (نمطيا، بين السنتين الثانية والرابعة من العمر).

> تقدم هذه النتائج دليلا قويا على أن لدى التوحديين خللا وظيفيا في منظومة العصبونات المرآتية.

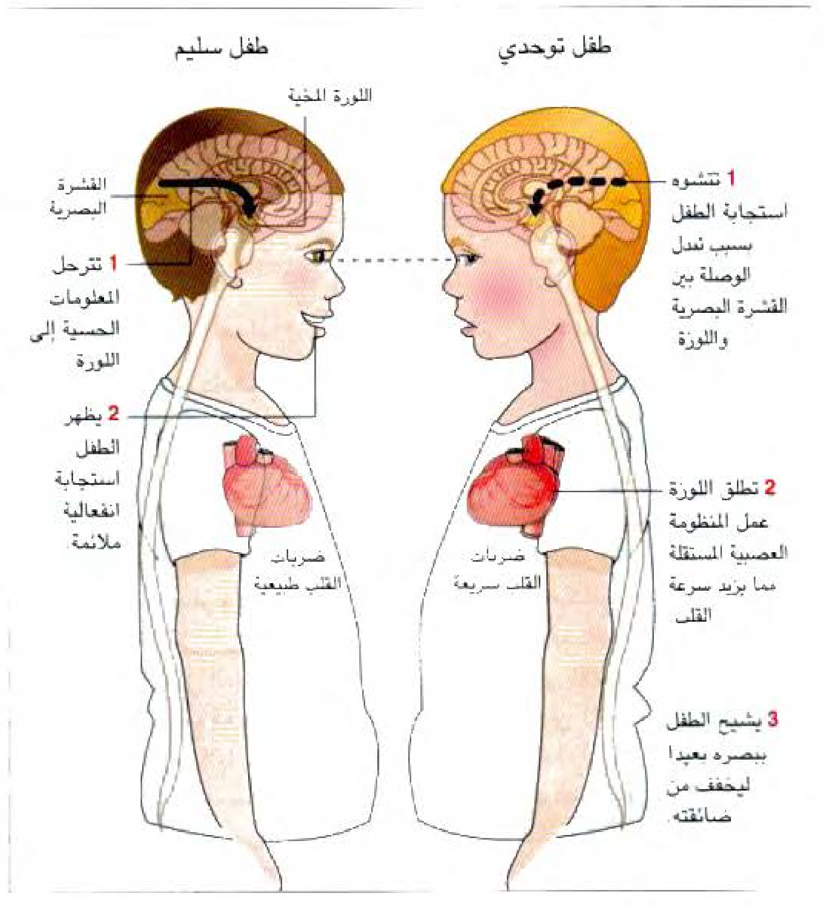
وهناك إمكانية أخرى مثيرة للاهتمام لمعالجة التوحد أو تلطيف أعراضه على الأقل، تعتمد على **الارتجاع البيولوجي (الحيوي)** biofeedback. ويمكن للأطباء مراقبة الموجات mu لطفل توحدي وعرضها على شاشة أمامه. فإن كانت وظائف العصبونات المرآتية لديه هاجعة وغير مفقودة كليا، أمكنه إنعاش هذه القدرة بتعلمه ـ عن طريق المحاولة والخطأ و**الارتجاع البصري** visual feedback ـ كيف يكبت الموجات mu على الشاشة. ويتّبع زميلنا «پينيدا» هذه الطريقة، وتبدو نتائجه الأولية واعدة. ومع ذلك، يجب على هذه المعالجات أن تكمل تقنيات التدريب السلوكي التقليدية لا أن تحل محلها.

وتتوافر مقاربة علاجية جديدة أخرى تبتغي تصحيح خلل التوازن الكيميائي الذي يُضعف العصبونات المرآتية عند التوحديين. وقد أشار فريقنا إلى أن بإمكان معدلات **التنبيه العصبي الكهربي** neuromodulators المتخصصة

(*) Can the Mirrors Be Repaired?
(1) عبارة تعني مجازيا «تماسك».
(2) conjecture

نظرية المنظر العام البارز(*)

لتفسير بعض الأعراض الثانوية للتوحد، كفرط الحساسية وتحاشي التواصل بالنظر والكره الشديد لبعض الأصوات وما إلى ذلك، طرح الباحثون نظرية «المنظر العام البارز». فعند الطفل السوي تترحَّل المعلومات الحسية إلى اللوزة المخية التي تشكل بوابة المنظومة الحوفية المنظِّمة للانفعالات. وباستخدام المعلومات المختزنة تقرر اللوزة كيف يجب على الطفل أن يستجيب انفعاليا حيال كل منبه؛ وهو ما يشكل المنظر العام البارز في بيئة الطفل. ولكن ما يحدث عند الأطفال التوحديين هو أن الوصلات بين الباحات الحسية واللوزة قد تتغير؛ مما ينجم عنه استجابات انفعالية مفرطة تجاه أحداث وأشياء تافهة.



أن تعزز نشاط العصبونات المرآتية التي تتدخل في الاستجابات الانفعالية. وبحسب هذه الفرضية، قد يفسر **النفاد** depletion الجزئي لمثل هذه المواد الكيميائية ما يُشاهد عند التوحديين من نقص في إدراك أحاسيس الآخرين الانفعالية. ولذا تعين على الباحثين الكشف عن مركبات تنبه إطلاق معدلات التنبيه العصبي أو تقلد تأثيراتها في العصبونات المرآتية. وإن أحد هذه المركبات المرشحة للاستقصاء، هو MDMA(1)، المعروف باسم «**النشوة**» ecstasy. والذي تبين أنه يعزز **القرب** closeness والتواصل الانفعاليين. وقد يتمكن الباحثون من تحوير هذا المركب لتطوير معالجة آمنة وفعالة يمكنها تلطيف بعض أعراض التوحد على الأقل.

ومع ذلك، قد لا تقدم هذه المعالجات إلا **تفريجا** relief جزئيا؛ إذ لا يمكن شرح الأعراض الأخرى للتوحد اعتمادا على نظرية العصبونات المرآتية، ومنها مثلا: الحركات التكرارية كالاهتزاز إلى الأمام والخلف، وتحاشي التواصل بالنظر، وفرط الحساسية، والكره الشديد لبعض الأصوات. وفي محاولة لتحديد كيفية إمكان نشوء هذه الأعراض الثانوية، طوَّر فريق مختبرنا [بالتعاون مع «W. هرستين» [من كلية إيلمهرست] و«P. إيفرسن» [من Cure Autism Now. وهي مؤسسة غير ربحية مقرها في لوس أنجلوس] ما ندعوه **نظرية المنظر العام البارز** the salience landscape theory.

حينما ينظر شخص ما إلى العالم حوله فهو (أو هي) يواجه قدرا متدفقا من المعلومات الحسية: مناظر، أصوات، روائح، وما إلى ذلك. وبعد معالجة هذه المعلومات في باحات الدماغ الحسية، يُجرى ترحيلها إلى **اللوزة المخية** amygdala التي تعمل كمدخل **للمنظومة الحوفية** limbic system التي تنظم الانفعالات. واعتمادا على مدخول المعارف المختزنة لدى الفرد تقرر اللوزة المخية كيف يجب على الشخص أن يستجيب انفعاليا، مثلا: بالخوف (لرؤية لص) أو بالشهوة (لرؤية محب) أو باللامبالاة (لرؤية شيء تافه). وتتدفق الرسائل من اللوزة المخية إلى باقي أجزاء المنظومة الحوفية حتى تصل في نهاية المطاف إلى **المنظومة العصبية المستقلة** autonomic nervous system، التي تهيئ الجسم للعمل. فإن كان الفرد يواجه لصا على سبيل المثال، فستزداد سرعة قلبه وسيتعرق جسده ليبدد الحرارة الناجمة عن الجهد العضلي؛ ومن ثم **يرتجع** feedback تيقُّظ المنظومة العصبية المستقلة إلى الدماغ، مضخما الاستجابة الانفعالية. ومع مرور الزمن، تنشئ اللوزة المخية منظرا عاما بارزا، خريطة تبين تفصيلات الدلالة الانفعالية لكل شيء في بيئة الفرد.

وقرر فريقنا أن يتحرى إمكان وجود تشوه في المنظر العام البارز عند الأطفال التوحديين ربما نجم عن تغيير في **الوصلات** connections بين الباحات القشرية المخية ـ التي تعالج المدخلات الحسية واللوزة، أو بين البنى الحوفية والفصوص الجبهية التي تنظِّم مظاهر السلوك الناتجة. وبسبب هذه الوصلات غير السوية، يمكن لأي حادث أو أمر تافه أن يفجِّر استجابة انفعالية مفرطة تطلقها المنظومة العصبية المستقلة في عقل الطفل. وربما فسرت هذه النظرية سبب ميل الأطفال التوحديين إلى تفادي

(*) The Salience Landscape Theory

(1) من مشتقات الفينيثيلامين وذو نشاط مركزي، ويتصل بالأمفيتامين والميتافيتامين، وله خصائص هلسية ومنبهة للجهاز العصبي المركزي (التحرير)

التــواصـل بـالنظر والابتــعــاد عن أي إحساس جديد آخر قد يفضي إلى ثورة عنيفة لديهم. كما قد تشرح الإدراكات المشوهة للدلالة الانفعالية أيضا سبب الاستغراق الشديد الذي يظهره الأطفال التوحديون في أمور تافهة كمواعيد القطارات، في الوقت الذي لا يبدون فيه أي اهتمام على الإطلاق بأشياء يراها معظم الأطفال خلابة.

وقد لقينا بعض الدعم لفرضيتنا حين مراقبتنا الاستجابات المستقلة لمجموعة مؤلفة من 37 طفلا توحديا، بوساطة قياس ازدياد **الإيصالية الجلدية** skin conductace. هذا الازدياد الناجم عن التعرق. وبالمقارنة مع أطفال المجموعة، تبين وجود مستوى من التيقظ المستقل أعلى لدى الأطفال التوحديين بصفة عامة. وعلى الرغم مما بدا عليهم من اهتياج حين تعرضهم لأشياء وأحداث تافهة، فغالبا ما تجاهلوا المنبهات التي أطلقت استجابات متوقعة لدى أفراد المجموعة الشاهدة.

ولكن كيف يمكن للمنظر العام البارز عند الطفل أن يغدو مشوها إلى هذا الحد؟ لقد وجد الباحثون أن ما يقرب من نسبة ثلث عدد الأطفال التوحديين تعرضوا في طفولتهم **لصرع الفص الصدغي (الصرع النفسي الحركي)** temporal lobe epilepsy. وربما كانت النسبة أعلى كثيرا، إذ إن نوبات صرع كثيرة تمر من دون كشف. ويمكن لهذه النوبات، التي يسببها وابل عشوائي متكرر من **الدفعات العصبية** nerve impulses التي تجتاز المنظومة الحوفية، أن تخلط وتربك في نهاية الأمر الوصلات بين القشرة البصرية واللوزة المخية، فتعزز بعض الوصلات وتضعضع أخرى من غير تمييز بينها. ويفضي صرع الفص الصدغي لدى الكبار إلى اضطرابات انفعالية شديدة، إلا أنها لا تؤثر جذريا في **التعرف** cognition. أما عند الأطفال فقد تؤدي هذه النوبات إلى عجز أكثر عمقا. وكما هو الأمر في التوحد، يبدو أن خطورة صرع الفص الصدغي في الطفولة تتأثر بكل من العوامل الجينية والبيئية. إن بعض الجينات مثلا، قد تجعل الطفل أكثر استعدادا للعداوى الفيروسية، التي يمكن بدورها أن تؤهب الطفل للنوبات.

وقد ساعد نتائجنا حول استجابات المنظومة العصبية المستقلة على شرح الملاحظة السريرية القديمة التي ترى أن ارتفاع الحرارة في الحمى يلطف أحيانا من أعراض التوحد مؤقتا. إن المنظومة العصبية المستقلة ذات دور في ضبط حرارة الجسم؛ إذ يبدو أن مسالك عصبية واحدة هي التي تنظم كلا من ارتفاع درجة الحرارة والسورات[1] الانفعالية في التوحد، وربما كان بوسع الحمى أن تلطف من هذه السورات.

وقد تتمكن نظرية المنظر العام البارز من تقديم تفسير للحركات التكرارية وصرب الرأس المشاهدة بين الأطفال التوحديين. إن هذا السلوك الذي يدعى **تنبيه الذات** self-stimulation قد يفلح في إخماد الهيجانات العصبية التلقائية بشكل ما عند الطفل. فقد وجدت دراساتنا أن تنبيه الذات لم يكن ذا تأثير مثبط فحسب، بل أدى أيضا إلى نقصان قابل للقياس في إيصالية الجلد. وتُبين هذه النتيجة احتمال إيجاد مداواة **أعراضية** symptomatic للتوحد. ويسعى «هرشتين» حاليا إلى تطوير أداة محمولة تستطيع أن تراقب إيصالية جلد الطفل التوحدي. فحينما تكشف هذه الأداة تيقظا في المنظومة العصبية التلقائية تُشغل أداة أخرى، تدعى **قميص الضغط** squeeze vest، تزود بضغط يبعث الراحة عن طريق شدها بلطف حول جسم الطفل.

وليست النظريتان المرشحتان لشرح أعراض التوحد، أي خلل وظيفة العصبونات المرآتية والمنظر العام البارز المشوه، متناقضتين بالضرورة. فمن الممكن أن الحادثة نفسها ـ التي تشوه المنظر العام البارز عند الطفل عن طريق إرباك الوصلات بين المنظومة الحوفية وبقية أجزاء الدماغ ـ تخرب أيضا العصبونات المرآتية. وبدلا من ذلك، قد تكون الوصلات الحوفية المتبدلة أثرا جانبيا للجينات نفسها التي تسبب خللا وظيفيا في منظومة العصبونات المرآتية. ومن الضروري إجراء تجارب لاحقة لاختبار هذين التخمينين بدقة أكبر. ويبقى من الواجب اكتشاف السبب الجوهري للتوحد. وفي غضون ذلك، قد توافر تأملاتنا إطارا مفيدا لأبحاث مستقبلية. ■

(1) upheavals أو الثورانات (ج: ثوران) (التحرير)

إذا كانت وظائف العصبونات المرآتية هاجعة لا مفقودة، فقد يمكن إنعاش قدرتها.

المؤلفان

Vilayanur S. Ramachandran - Lindsay M. Oberman

*بحثا معا الصلات بين التوحد ومنظومة العصبونات المرآتية في «مركز الدماغ والتعرف» بجامعة كاليفورنيا في سان دييكو. حصل «راماشاندران» [مدير المركز] على الدكتوراه في علم الأعصاب من جامعة كمبردج، واشتهر كخبير في شذوذات الدماغ. ودرس أيضا ظاهرتي **الأطراف الشبحية** phantom limbs **والحس المتشارك** synesthesia، وحصل بذلك على جائزة «هنري ديل» لعام 2005 وزمالة المعهد الملكي البريطاني. أما «أوبرمان» فهو طالب دراسات عليا في مختبر «راماشاندران» بجامعة كاليفورنيا في سان دييكو، وانضم إلى الفريق العامل في هذا المختبر عام 2002.*

مراجع للاستزادة

Autonomic Responses of Autistic Children to People and Objects. William Hirstein, Portia Iversen and Vilayanur S. Ramachandran in *Proceedings of the Royal Society of London B*, Vol. 268, pages 1883–1888; 2001.

EEG Evidence for Mirror Neuron Dysfunction in Autism Spectrum Disorders. Lindsay M. Oberman, Edward M. Hubbard, Joseph P. McCleery, Eric L. Altschuler, Jaime A. Pineda and Vilayanur S. Ramachandran in *Cognitive Brain Research*, Vol. 24, pages 190–198; 2005.

A Brief Tour of Human Consciousness. New edition. Vilayanur S. Ramachandran. Pi Press, 2005.

Scientific American, November 2006

المنظومة لاش(*)

منظومة للمراقبة العسكرية أساسها المنطاد

إن **مناطيد المراقبة** blimps الحالية ضخمة وترفرف كلوحات إعلانية مفرحة في المناسبات الرياضية، في حين أنها قد تقوم بدور أكثر جدية في المستقبل، مثل المراقبة الجوية.

فقد حمّل مهندسو البحرية الأمريكية **سفينة هوائية** airship منظومة خاصة تسمى لاش LASH(1) وبصورة أساسية، تعمل «لاش» بوساطة كشف الألوان. فكل جسم يعكس الضوء بالصورة الخاصة به، غير المرئية بالعين المجردة. والمنظومة «لاش» التي طورتها مؤسسة «العلوم والتقانة الدولية» في هونولولو، هي في الأساس آلة تصوير ترسل الصورة الضوئية، التي عادة ما تكون في المجال تحت الأحمر أو البنفسجي، إلى حاسوب محمول على متن المنطاد. يفاضل الحاسوب بين الأطوال الموجية ويعطي خيالا يظهر صورة، في الزمن الحقيقي، ذات تغيرات ألوان محسنة. ويقول «S. هويت» [مدير تطوير منظومة السفينة الهوائية المتقدمة لمكتب أبحاث البحرية]: «إن التمويه الذي يصنعه الإنسان، على سبيل المثال، يختلف بترددين عن طيف اللون الطبيعي المحيط، ولا تستطيع عينك أبدا تمييز الفرق.»

لكن المنظومة «لاش» تستطيع ذلك. فقد استطاعت أثناء الاختبارات أن تتبع حيتانا تسبح في ممرات السفن على عمق نحو 20 مترا تحت سطح المحيط، كما اكتشفت غزو الجنادب للمحاصيل. وقال «هويت» موضحا: «إذا فُقد طفل في الغابة وكانت والدته تعلم أنه يلبس معطفا أحمر فإنك تبحث عن ذلك اللون.»

إن المناطيد المقيدة، هي الآن عناصر للمراقبة العسكرية والشرطية. لكن المناطيد التي تحلق بحرية والتي تحمل محسات عالية التقنية توافر مرونة أفضل بكثير. وقد أعطى الموظفون الفدراليون في الشهر 2002/10 الموافقة على تجهيز المنطاد بمنظومة «لاش» ومحسات أخرى للبحث عن قناصة منطقة الحزام المحيط بالعاصمة واشنطن وذلك بكشف إطلاق النار من سلاح. أما من ناحية الاستخدام العسكري، فإن المنطاد المجهز بمنظومة «لاش» يمكنه أن يراقب مناطق النزاعات المتفرقة ومحاولة معرفة الأمكنة المموهة لاختباء العدو (ونظرا إلى كون المناطيد هدفا سهلا، فهي غير مناسبة لمراقبة مناطق القتال الساخنة كالعراق). كما يمكن للبحرية أو لحراس الشواطئ استخدام المنظومة لتقصي الشواطئ الأمريكية والبحث مثلا عن الإرهابيين أو المهربين أو عن الألغام في المرافئ.

إن ميزة المناطيد التي تجعلها مناسبة للمراقبة الجوية وبالتحديد قدرتها على البقاء مستقرة لفترة زمنية طويلة ـ سببت كذلك قلق بعض المراقبين. يقول «P. كارليت» [الذي يعمل محللا دفاعيا لدى منظمة «الأمن العالمي» في مدينة الاسكندرية في فرجينيا]: «لدي مشكلة مع العسكريين الذين ينظرون إلى فناء بيتي كل يوم. فالناس يتذمرون حول قانون المواطنة. وهم قلقون من العسكريين الذين يراقبونهم يوميا. وهذا سيغير طريقة نظرتنا إلى الحريات المدنية بشكل جذري. فأهلا بك في دولة الشرطة.» ويجيب «هويت» عن ذلك بشكل مقتضب: «إننا لا نتجسس على الناس، فهذا مخالف للقانون.» ■

المؤلف
Phil Scott
يكتب عن تقانة *الطيران*، ويقيم في مدينة نيويورك.

أعين سفينة الفضاء: يحمل المنطاد عاليا منظومة محسات تدعى «لاش» التي اجتازت اختباراتها الجوية.

من المراقبة إلى التشخيص(**)

إن التقانة لاش LASH قد تكون مفيدة في المستشفيات(2). إذ يمكن لآلة التصوير المزودة بهذه التقانة أن تكشف الخلايا السرطانية بملاحظة التغيرات الضوئية الدقيقة مقارنة بالنسج المحيطة. وتخضع المنظومة لاختبار الطور الثاني للاستخدام في كشف السرطان العنقي cervical؛ إذ إنها تجري بالفعل، وبدون ألم، تشريحا مجهريا biopsy افتراضيا وتعطي نتائج في الزمن الحقيقي، وهذا يعفي المريض من قلق الانتظار لمعرفة النتائج من طبيب التشريح المرضي pathologist. وكان صانعو المنظومة «لاش» [من مؤسسة العلوم والتقانة العالمية] يأملون تسويقها عام 2006.

حلقات نانوية لا تنسى(***)

يمكن لصنّعي الذواكر المغنطيسية تحزيم شيبات بشكل كثيف اعتمادا على تقنيات **الليتوغرافيا** lithography، لكنهم سيحتاجون إلى وسيلة أخرى موثوقة ورخيصة لتشكيل بنات ذات مقياس نانوي وفقا لإحدى المقاربات المحتملة. فقد تمكن الباحثون من جمع جسيمات كوبالت نانوية كي تتشكل كحلقات قادرة على تخزين معلومات مغنطيسية عند درجة الحرارة العادية. فالجسيمات، التي تبدأ بالطفو في محلٍ ممزوج بخافض **للتوتر السطحي** surfactant يجذب بعضها بعضا مثل مغنطيس بالغ الصغر وتتجمع وفق طيف من الأشكال، بما فيها حلقات قطرها أقل من 100 نانومتر. ويمكن التحكم في مقدار الحلقات المتشكلة بتوليف تراكيز مخفض التوتر السطحي والجسيمات. ويتطلب بناء أجهزة من الحلقات، استقرارها ميكانيكيا، ومكاملتها مع طرق التصنيع النانوية الأخرى، كما يقول الباحث الرئيسي «A. واي» [من جامعة بيردو] ويضيف أنها قد تُجمع مثلا مع الأسلاك النانوية لتبديل الحالات المغنطيسية. وقد ظهر هذا العمل في الشهر 2003/11 في مجلة *Angewandte Chemie*. ■

<J. R. منكل>

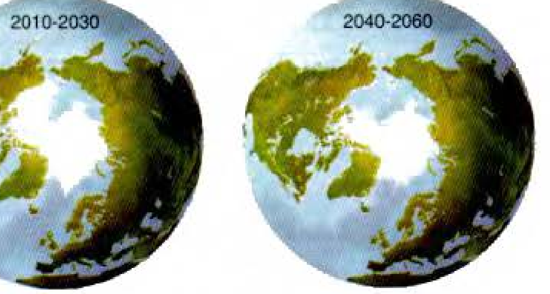
(*) LASH OUT
(**) From Surveillance to Diagnostics
(***) MEMORABLE NANORINGS
(1) الأحرف الأولى من Littoral Airborne Sensor Hyperspectral، وتعني «المحس الجوي الساحلي المفرط الحساسية الطيفية».
(2) أو المشافي (ج: مشفى)
(3) أو الحفر الضوئي

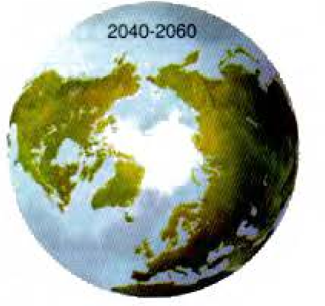
ذوبان عند القمة الجليدية(*)

سيكون للاحترار السريع في القطب الشمالي عواقب عالمية.

يكمن تأثير الاحترار العالمي مستقبلا في القارة القطبية الشمالية ففي العقود الأخيرة، ارتفعت درجات الحرارة هناك أسرع بمرتين تقريبا منها في بقية أنحاء العالم. وأصدر **مجلس القارة القطبية الشمالية** The Arctic Council [وهو منظمة بين الحكومات تضم ثماني دول هي: الولايات المتحدة وكندا وآيسلندا والدنمارك والنرويج والسويد وفنلندا وروسيا، إضافة إلى عدة منظمات محلية شعبية] تقريرا متزنا في الشهر 2004/11. ويقدر التقرير أنه بحلول نهاية هذا القرن سوف ترتفع درجات حرارة الشتاء الوسطية أربع إلى سبع درجات سيلزية تقريبا فوق اليابسة، ونحو سبع إلى عشر درجات سيلزية فوق المحيطات، وهذا سيؤدي إلى تغيرات عميقة في نهاية القرن.

ذوبان جليد كرينلاند ذوبان جليد آخر فوق اليابسة خلال القرون القليلة القادمة فإن هذا سوف يرفع مستوى المحيطات ثمانية أمتار مهددا بذلك مدنا رئيسية، مثل مومباي وكلكوتا ومانيلا، وماسحا جزء فلوريدا الواقع تحت ميامي. كما أن ارتفاعات أقل شأنا ستكون كارثية. هناك 17 مليون انسان في بنكلاديش يعيشون على ارتفاع أقل من متر واحد فوق سطح البحر. أضف إلى ذلك أنه مع انكماش **الطبقة المتجمدة** permafrost في القارة القطبية الشمالية سيتحرر الكربون المحتبس هناك، وهو يعادل 14 في المئة من الإجمالي العالمي، وهذا سيزيد من **مفعول الدفيئة (الاحتباس الحراري)** greenhouse effect. وسوف يقضي احترار القارة القطبية الشمالية على الدب القطبي وعلى مجتمعات





بحسب توقعات مجلس القارة القطبية الشمالية، سوف يذوي الجليد البحري في القارة القطبية الشمالية، وتُظهر الخرائط وضع الجليد البحري في الشهر 9 في ثلاث فترات زمنية مختلفة من القرن 21.

ومع أن معظم الطاقة الشمسية يصل إلى المناطق الاستوائية، فإن الجو والمحيطات تعيد توزيع الطاقة الاستوائية نحو القطبين. وبخلاف المناطق الاستوائية، حيث يذهب جزء كبير من الطاقة التي تتلقاها هذه المناطق على السطح في التبخر، فإن معظم الطاقة التي يتلقاها سطح مناطق القارة القطبية الشمالية يذهب في تسخين الجو. ويرجح أن تسخن القارة القطبية الشمالية بصورة أسرع مما هي عليه في القارة القطبية الجنوبية، وذلك لعدة أسباب معقدة، منها أن امتصاص الإشعاع الشمسي فيها أكبر.

وتعطي الخرائط المبنية على متوسطات خمسة نماذج مناخية فكرةً عن حالة الجليد البحري في القارة القطبية الشمالية في الشهر 9 لثلاث فترات زمنية بين عامي 2010 و 2090. ووفق مجلس القارة القطبية الشمالية فإن صفيحة كرينلاند الجليدية، وهي أكبر كتلة جليد فوق اليابسة في العالم، سوف تتجاوز على الأغلب خط الذوبان **اللاعكوس** irreversible خلال هذا القرن. فإذا أضيف إلى

الفقمة ويشرد السكان الأصليين.

وفي الناحية الإيجابية سيُفتح الممر الشمالي الغربي خلال عقود قليلة أمام الشحن بالسفن صيفا بصورة منتظمة، وسوف تزداد على الأغلب فرص استخراج النفط والغاز قرب الشواطئ. وبالفعل فإن 25 في المئة من نفط وغاز كوكبنا المتبقية هي في القارة القطبية الشمالية؛ إذ تحتوي هدرات الغاز الطبيعي، وهي بلورات صلبة شبيهة بالجليد محتجزة تحت الطبقة المتجمدة، نظريا على طاقة أكثر من احتياطيات النفط والغاز والفحم الحجري التقليدية مجتمعة. لكن الاستغلال الكامل لموارد القارة القطبية الشمالية لتلبية حاجات العالم من الطاقة لن يكون على الأغلب قبل انقضاء عقود كثيرة قادمة [انظر: «جيوسياسة الطاقة»، **العلوم**، العددان 8/7 (2005)، ص 74] ■

<R. دويل>

نقاط موجزة(***)

- اكتشفت أقدم أحفورة جرابية marsupial، حتى الآن، عمرها 125 مليون سنة، فهي تتقدم تاريخيا بـ15 مليون سنة على شواهد أخرى حول الجرابيات وهي عبارة عن بقايا هيكل عظمي بحجم الفأر، كامل كمالا غير عادي.

Science, 2002/12/12.
www.sciam.com/news-directory.cfm

- اكتشف الباحثون أن قطاعات ظهرات ridges وسط المحيط يتباعد بعضها عن بعض سنويا بمقدار يتراوح بين 0.8 و 0.15 سم (صفحة 2 و 0.38 سم) مقارنة بالحركات النموذجية التي تتراوح بين 2.5 و 17.8 سم. ويمكن أن يغير التباعد المتناهي البطء التفكير حول تشكل صفائح القشرة الأرضية.

Nature، 2003/11/27.

- تمكن الفيزيائيون من التصوير بعدسة مستوية عند ترددات ميكروية. وهذه التقنية، المستندة إلى الانكسار السالب، يمكن أن تعطي صورا أكثر حدة من تلك الناتجة من الانحناء لعدسة مقوسة.

Nature، 2003/11/27.

(*) العنوان الأصلي: MELTING AT THE TOP
(***) Brief Points

وجهة نظر

دَعِ الإنترنت على الحياد[*]

لو كان لعالم الإنترنت أن يتخذ شعارا غير رسميٍّ حتى الآن، لكان هذا الشعارُ الجملة التي علّق بها <P. شتاينر> على رسمه الكاريكاتيري الشهير: «حينما تكون على الإنترنت، لا أحد يعرف أنك كلب.» فالاتصالات الرقمية لا تخفي هوية المستخدم وحسب، بل إن البروتوكولات الأساسية التي تحكم تدفق البيانات فيها ـ ويرمز لها بالأحرف TCP/IP ـ لا مثيل لها في المساواة. فمسيِّرات حركة الاتصالات تُعامل بالتساوي رُزَم بيانات كل من يستخدم الإنترنت. وبفضل «أرض الملعب المستوية» التي ميّزت الإنترنت حتى الآن، أمكن للمبادرين الذين حققوا ابتكاراتهم انطلاقا من مرآب سيارة، أن ينافسوا بمنتجات شركاتهم الحديثة العهد الشركات الخمسمئة الأغنى في العالم، حسب تصنيف مجلة *Fortune*.

لكن في ضوء الرواج المتنامي **للڤيديو الدفقي**[1] streaming video، وخدمات أخرى مختلفة تصنّف تحت تسمية "Web 2.0"، تُجادل بعض شركات الاتصالات من أجل تغيير النموذج المكنّى «حيادية الشبكة.» فجودة الڤيديو على الخط لا تتحمل الإعاقة في الإرسال، حتى لو كانت ضئيلة. والآن ترغب شركات من أمثال AT&T و Verizon و Comcast، التي تمتلك **الخطوط الفقريَّة** backbone lines على شبكة الإنترنت، في وضع أفضليات لحركة البيانات بغية الوصول إلى تدفق أكثر اتزانا. وإذا سارت الأمور وفق ما يريدون، فإن شعار الإنترنت التالي يمكن أن يُقتبس من كتاب «*مزرعة الحيوانات*» لـ <G. أورْوِل>: «خُلقت الحيوانات جميعا متساوية، لكن بعضها أكثر تساويا من غيره.»

تقترح شركات الاتصالات **خدمة طبقية لمزوّدي المحتوى** tiered service content providers على الشبكة. ويدفع هؤلاء المزوِّدون حاليا مقابل **عرض الحزمة** bandwidth الذي يستخدمونه فقط، لكن شركات الاتصالات تريد أيضا تحميلهم تكاليف أعلى لقاء معاملة تفضيلية لبياناتهم. وتجادل هذه الشركات بأنها تحتاج إلى الاستثمار من أجل تلبية الطلب المتزايد على عرض الحزمة. والبديل الوحيد لتحميل مزوّدي المحتوى التكلفة الإضافية هو تحميل الأفراد المستهلكين تكلفة أعلى لقاء النفاد إلى الشبكة، وهو أمر لا يرحب به أحد.

لكن هذا التوجه يستثير بعض النقاد. فالشركات التي تبرم عقودا مع شركات الاتصالات، أو الشركات التي تقدّم المحتوى للشبكة وهي أذرع لشركات الاتصالات ذاتها، يمكن أن تحصل على مزايا هائلة مقارنة بمنافسيها ـ وهذا ترتيب **مناف للجدارة** antimeritocratic يسيء إلى التنافس ويعرقل استحداث مؤسسات جديدة للأعمال. وفي أسوأ الحالات، يمكن أن تصبح بعض المواقع على الشبكة غير قابلة للاستخدام عمليا. ومن دون ريب، سوف تُحال الرسوم الإضافية ـ بطريقة أو بأخرى ـ إلى المستهلك في نهاية المطاف، على صورة تكاليف أعلى للحصول على المحتوى.

وفي المحصلة، فإن أولئك الذين يفضلون حيادية الشبكة يمتلكون الحجة الأفضل. فوجود نظام لتحديد أفضليات حركة البيانات ربما أضحى ضروريا يوما ما. إلا أنه يؤمل وضع هذا النظام بناءً على الاحتياجات التي يفرضها نقل البيانات، لا على صفقات ونزوات مُلاّك الكبال[2]. إضافة إلى ما سبق، فإن **المدونات[3] الشخصية** personal blogs وصفحات الوب الأخرى تتجه بصورة متزايدة لتصبح خليطا منوّعا من مصادر مختلفة والخدمات الطبقية يمكن أن تُخمد هذه النزعة. لذا، فإن لم يتم التوصل إلى تشارك عام في تكاليف الڤيديو، فقد يكون من العملي ومن دواعي المساواة في نهاية المطاف أن يدفع كلُّ شخص ثمن ما يستقبل من بيانات قيّمة.



من الذي سيتحمل تكاليف الڤيديو عبر الإنترنت؟

وقد يشعر الإنسان بقدر أكبر من الاطمئنان تجاه إنهاء حياد الشبكة لو لم تتمتع شركات الاتصالات، في الكثير من الأحيان، باحتكار خدمة **الحزمة العريضة** broadband. فنصف عدد الأمريكيين تقريبا يمتلكون خيارا محدودا، أو لا يمتلكون أي خيار، إذا احتاجوا إلى وصلات عالية السرعة. وإن شح المنافسة يقلص الحوافز التي تدفع شركات الاتصالات للحفاظ على مستوى مرتفع لخدمات الشبكة من جميع الجوانب.

وفي الشهر 2006/6 وجّه مجلس النواب الأمريكي صفعة إلى حياد الشبكة بإبرامه تعديل قانون الاتصالات لعام 1996، ألغى بموجبه أي حماية لها. ويُحضِر مجلس الشيوخ مشروع قرار كاسح خاص به لإعادة تنظيم الاتصالات. وحول هذه القضية المهمة هناك عريضتان يُطلب توقيع إحداهما، تلك التي أعدَّها الموقع SavetheInternet.org (الذي يفضل حياد الشبكة) والأخرى التي أعدَّها الموقع HandsOff.org (المعارض لحيادها). ■

ساينتيفيك أمريكان

(*) KEEP THE NET NEUTRAL

(1) سلسلة من الصور المتحركة التي تُرسل مضغوطة عبر الإنترنت.

(2) cable owners، أو مُلاّك الاتصالات.

(3) blog، وأصلها weblog، وهي صحيفة إلكترونية تُحدّث باستمرار، وتعبّر عموما عن شخصية كاتبها أو عن موقع الشبكة الذي تصدر عنه. (التحرير)